

Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan korkeakoulu
Tietoliikennetekniikan koulutusohjelma

Risto Hanhinen

Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen analyysi

Diplomityö
Espoo, 20. tammikuuta 2016

Valvoja: Dosentti Kalevi Kilkki
Ohjaaja: Dosentti Kalevi Kilkki

Aalto-yliopisto
 Sähkötekniikan korkeakoulu
 Tietoliikennetekniikan koulutusohjelma

DIPLOMITYÖN
 TIIVISTELMÄ

Tekijä:	Risto Hanhinen		
Työn nimi:	Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen analyysi		
Päiväys:	20.1.2016	Sivumäärä:	11 + 66
Pääaine:	Tietoverkkotalous	Koodi:	ETA3003
Valvoja:	Dosentti Kalevi Kilkki		
Ohjaaja:	Dosentti Kalevi Kilkki		
<p>Mobiilin videon katselu on mobiilin verkkoliikenteen suurimpia kasvattajia. Lisäksi niin mobiiliverkon kuin mobiilien päätelaitteiden teknologia on kehittynyt niin pitkälle, että omalla älypuhelimella on mahdollista seurata teräväpiirtoisia videolähetyksiä verkon yli. Nämä asettavat haasteita käyttäjäkokemukselle.</p> <p>Tämän diplomityön tarkoituksena on tutkia seikkoja, jotka vaikuttavat mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemukseen sekä perehtyä yleisesti käyttäjäkokemukseen, palvelun ja kokemuksen laadun käsitteisiin. Tavoitteena oli myös luoda teoreettinen malli sille, miten käyttäjäkokemusta voidaan mallintaa ottamatta käyttäjä ja hänen näkökulmaa mukaan tutkimusprosessiin. Työssä kehitettiin kolmijakoinen malli kuvaamaan mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen laatua teknisestä, verkon ja käyttäjän näkökulmasta.</p> <p>Mallista otettiin teknisen ulottuvuuden osalta lähempään tarkasteluun bittinopeuden, viiveen ja näiden vaihtelun pohjalle luotu matemaattinen malli, jota testattiin skenaarioanalyysin voimin. Tämän mallin pääpaino on kirjallisuustutkimuksen perustella tärkeäksi havaittu bittinopeus. Skenaariot olivat paikallaololle, liikkeelle hyvissä verkko-olosuhteissa ja liikkeelle huonoissa verkko-olosuhteissa ja mittausdata saatiin nettitutka sovelluksesta, jonka avulla mitataan verkkoyhteyksien laatua käyttäjien keräämän datan avulla. Malli ennusti hyvää käyttäjäkokemusta niin paikalla- kuin liikkeelläololle suotuisissa verkko-olosuhteissa ja heikkoa käyttäjäkokemusta haastaviin verkko-olosuhteisiin.</p>			
Asiasanat:	käyttäjäkokemus, asiakaskokemus, kokemuksen laatu, palvelun laatu, QoS, QoE, nettitutka, video, skenaarioanalyysi		
Kieli:	Suomi		

Aalto University

School of Electrical Engineering

Degree Programme in Telecommunications Technology

ABSTRACT OF

MASTER'S THESIS

Author: Risto Hanhinen	
Title: Analysis of User Experience in Mobile Video Watching Scenarios	
Date: January 20 th , 2016	Pages: 11 + 66
Major: Network Economics	Code: ETA3003
Supervisor: Docent Kalevi Kilkki	
Advisor: Docent Kalevi Kilkki	
<p>Mobile data traffic grows rapidly each passing year and the biggest contributor to this trend is mobile video watching. Additionally, mobile technologies both in network and end-user device sector have evolved quickly in the passing years allowing users to watch even high quality and high definition video streams from their mobile devices. However, since there are limits to bandwidth, this creates challenges for user experience.</p> <p>The purpose of this thesis is to find out which factors affect user experience in mobile video watching scenarios. Second purpose was creating a model based on what was found in the academic literature to describe user experience in mobile video watching and help analyse it. Model is three-fold and has dimensions in video and connection's technical aspects, network and operator aspects as well as in user aspects.</p> <p>User experience model was further specified in a mathematical way to describe bitrate's and delay's effect on user experience. These were the aspects, according to the academic literature, that weigh most when watching streamed video online on a mobile device. This mathematical model was tested using scenario analysis where there were three scenarios: stationary, moving with good connection and moving with bad connection. The model forecast excellent or good user experience in the first two scenarios and weak or bad user experience in the last scenario.</p>	
Keywords: User Experience, Quality of Experience, Quality of Service, QoE, QoS, UX, Customer Experience, Video, Scenario Analysis	
Language: Finnish	

Kiitokset

Haluan kiittää dosentti Kalevi Kilkkiä, joka toimi tämän diplomityön valvojana ja ohjaajana. Diplomityö tehtiin osana ”dippa valmiiksi” -projektia syksyllä 2015 ja sain häneltä, sekä muilta projektiin osallistuneilta paljon apua, vinkkejä, vertaistukea sekä asiantuntemusta aiheen valinnan, aihealueen tietouden sekä akateemisen kirjoitustyön osalta.

Haluan myös kiittää kaikkia niitä ihmisiä, jotka omalta osaltaan ovat auttaneet ja tukeneet minua tätä työtä tehdessäni. Tukenne on ollut suunnattoman tärkeä. Haluan antaa myös kiitoksen kaikille niille ihmisille, joihin olen tutustunut opintojeni aikana, ja jotka ovat omalta osaltaan tehneet opiskeluajoistani elämäni ikimuistoisimpia.

Lopuksi tahdon kiittää vielä vanhempiani Ljubov ja Risto Hanhista tuesta opintojeni aikana.

Helsinki, 20. tammikuuta 2016

Risto Hanhinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	i
Abstract.....	ii
Kiitokset	iii
Sisällysluettelo	iv
Lista kuvista	vi
Lista taulukoista	vi
Lista kaavoista.....	vii
Lyhenteet.....	viii
1. Luku: Johdanto	1
1.1. Työn rakenne	1
1.2. Tutkimuksen taustaa	2
1.3. Tutkimuskysymykset	2
1.4. Tutkimuksen laajuus ja raja- aus	3
2. Luku: Kirjallisuuskatsaus	5
2.1. Kokemus ja vuorovaikutus psykologisia käsitteinä	5
2.2. Käyttäjäkokemus (User Experience)	7
2.3. Kokemuksen laatu (Quality of Experience)	11
2.4. Palvelun laatu (Quality of Service).....	21
3. Luku: Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen malli.....	25
3.1. Mallin reunaehdot	25
3.2. Mallin esittely ja tarkastelu	31
4. Luku: Tutkimusmenetelmät	36
4.1. Nettitutka	36
4.2. Skenaarioanalyysi.....	38
4.3. Skenaariot	39

4.3.1.	Skenaario 1: Pysäkillä odottelu	40
4.3.2.	Skenaario 2: Maantieajo	41
4.3.3.	Skenaario 3: Veneily rannikolla	42
4.4.	Skenaariovertailu	43
5.	Luku: Tulokset ja analyysi	45
5.1.	Käyttäjäkokemus ja sen laatu	45
5.2.	Ensimmäinen skenaario	46
5.3.	Toinen skenaario	47
5.4.	Kolmas skenaario	48
6.	Luku: Johtopäätökset ja keskustelu	51
6.1.	Johtopäätökset	51
6.2.	Tutkimuksessa esiintyneet haasteet ja rajoitukset	52
6.3.	Jatkotutkimus ja käytännön sovellukset	53
	Lähdeluettelo	57
	A Mobiilin videon käyttäjäkokemuksen mallin testauksen tulosaineisto ...	64

Lista kuvista

Kuva 1: Tarina: kokemuksen rooli ja määritelmä osana tarinaa, mukailtu (Perttula & Latomaa, 2009) mukaan.	6
Kuva 2: Käyttäjäkokemuksen määrittely eri näkökulmien kautta (Hassenzahl & Tractinsky, 2006) mukaillen	8
Kuva 3: Käyttäjäkokemuksen suhde asiakaskokemukseen mukaillen Lowdenin näkemystä (2014)	10
Kuva 4: Kokonaishyväksyttävyyden malli (Nielsen, 1993)	12
Kuva 5: Tietoliikennetekniikan ekosysteemin malli (Kilkki, 2008)	13
Kuva 6: Videon laadun ja bittinopeuksien suhde erityyppisissä videoissa matalilla bittinopeuksilla (Huynh-Thu & Ghanbari, 2012)	28
Kuva 7: Videon laadun ja bittinopeuden suhde erilaisilla videoilla, suurilla bittinopeuksilla (Schroeder, et al., 2013)	29
Kuva 8: Erilaisia testivideotyyppisiä, joita käytettiin mm. (Schroeder, et al., 2013) tutkimuksessa (Xiph, ei pvm)	30
Kuva 9: Mobiilin videonkatselun kokemuksen laatu	31
Kuva 10: Nettitutkan verkon suorituskyvyn tarkastelun työkalu (Netradar, 2012)	37
Kuva 11: Ensimmäisen skenaarion sijainti kartalla (OGC, 2015)	40
Kuva 12: Toisen skenaarion matka maantietä pitkin Hyvinkäältä Porvooseen (OGC, 2015)	41
Kuva 13: Kolmannen skenaarion veneilyreitti Helsingin ulkosaaristossa (Geoinformatics Research Group, 2015)	42
Kuva 14: Maantieajo-skenaarion bittinopeuden, viiveen ja käyttäjäkokemuksen laadun arvosanat	47
Kuva 15: Veneily rannikolla -skenaarion bittinopeuden, viiveen ja käyttäjäkokemuksen laadun arvosanat	49
Kuva 16 – Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen analyysin prosessi	55

Lista taulukoista

Taulukko 1: QoE:n avainosakkaat, mukaillen (Brooks & Hestnes, 2010).	14
Taulukko 2: Yhteenvedo videon laadun mittareista, joita voidaan liittää kokemuksen laatuun	15
Taulukko 3: Kuvanlaadun suhde mielipidearvion arvosanoihin 1 – 5	17

Taulukko 4: QoE:n suorituskykymittarit, mukaillen (Soldani, et al., 2006)	18
Taulukko 5: Uudelleenpuskuroinnin ominaisuuksien suhde palvelun laadun tasoihin (Mok, et al., 2011).	20
Taulukko 6: Videokoodauksen bittinopeuden vaatimuksia, mukaillen (ITU, 2014) ja (Patterson, 2012)	26
Taulukko 7: Mobiilin videonkatselun kokemuksen laadun arvosanarajat 720p-laatuiselle suoratoistettavalle vakiobittinopeuksiselle videolle ...	34
Taulukko 8: Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen skenaariot vertailussa.....	43
 Taulukko A1: Pysäkillä odottelu -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvosanat ja painotetut keskiarvot	64
Taulukko A2: Maantieajo -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvosanat ja painotetut mittaushetkien keskiarvot, sekä kokonaiskeskiarvo	65
Taulukko A3: Veneily saaristossa -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvosanat ja mittaushetkien painotetut keskiarvot, sekä kokonaiskeskiarvo	66

Lista kaavoista

(1) - Pikselikeskiarvojen erojen neliöiden summan keskiarvo (MSE).....	16
(2) - Huippuarvo signaalikohinasuhteesta (PSNR)	16
(3) - Kokonaisarvosana mielipideasteikon keskiarvosta mobiilille videonkatselun käyttäjäkokemuksen laadulle (MVQoEMOS)	34
(4) - Yksinkertaistettu versio mobiilin videon käyttäjäkokemuksen laadusta (SMVQoEMOS)	34
(5) - Kokonaiskokemuksen laadun mielipideasteikon keskiarvo ($QoEMOS_{tot}$)	35

Lyhenteet

1080p	Full High Definition	Teräväpiirtotasoinen videon resoluutio 1920x1080 pikseliä
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Usean matkapuhelinalaan liittyvän standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio
480p	Enhanced Definition	Ei-teräväpiirtotasoinen videon resoluutio 640x480 tai 853x480 pikseliä
576p	Enhanced Definition	Ei-teräväpiirtotasoinen videon resoluutio 704x576 tai 720x576 pikseliä
720p	High Definition	Teräväpiirtotasoinen videon resoluutio 1280x720 pikseliä
CN	Core Network	Ydinverkko
CX	Customer Experience	Asiakaskokemus
E2E	End-to-end	Päästä päähän (yhteys)
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	GPRS-tekniikkaan perustuva paranneltu pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
FR	Full Reference	Kuvanlaadun mittauksessa verrokkia käyttävä versio
GAP	Good, Acceptable, Poor	HHH-malli (hyvä, hyväksyttävä, huono)
GPRS	General Packet Radio Service	GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications	2. sukupolven matkapuhelinteknologia
HSPA	High Speed Packet Access	Matkapuhelinviestintäprotokollien kokoelma, joka parantaa olemassa olevien UMTS-tekniikoiden suorituskykyä

HSPA+	Evolved High Speed Packet Access	Kehittyneempi versio HSPA:sta
IP	Internet Protocol	Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii tietoliikennepaketien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä verkossa
ITU	International Telecommunication Union	Kansainvälinen, YK:n alainen televiestintäliitto
KPI	Key Performance Indicator	Suorituskykymittari
LTE	Long Term Evolution	4. sukupolven matkapuhelinteknologia
MOS	Mean Opinion Score	Mielipideasteikon keskiarvo
MVQoEMOS	Mobile Video Quality of Experience Mean Opinion Score	Arvio mielipideasteikon keskiarvosta mobiilille videon katselun kokemuksen laadulle
NR	No Reference	Kuvanlaadun mittauksessa verrokiton keino
PEVQ	Perceptual Evaluation of Video Quality	Videon laadun havainnollinen arviointi
PSNR	Peak signal-to-noise ratio	Huippuarvo signaalikohina-suhteesta
QoE	Quality of Experience	Kokemuksen laatu
QoUE	Quality of User Experience	Käyttäjäkokemuksen laatu
QoCE	Quality of Customer Experience	Asiakaskokemuksen laatu
QoSE	Quality of Social Experience	Sosiaalisen kokemuksen laatu
QoS	Quality of Service	Palvelun laatu

RR	Reduced Reference	Kuvanlaadun mittauksessa pienetäällä verrokillä oleva versio
SMVQoEMOS	Simplified Mobile Video Quality of Experience Mean Opinion Score	Arvio yksinkertaistetusta mielipideasteikon keskiarvosta mobiilille videon katselun kokemuksen laadulle
SSIM	Structured Similarity	Rakenteellinen samankaltaisuus
SVQ	Subjective Video Quality	Subjekttiivinen videon laatu
TCP	Transmission Control Protocol	Tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille, joilla on pääsy internetiin
UE	User Equipment	Käyttäjän varusteet
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	3. sukupolven matkapuhelinteknologia
UX	User Experience	Käyttäjäkokemus
VBR	Variable Bit Rate	Vaihteleva bittinopeus
VVoIP	Voice and Video over IP	Ääni ja video IP:n yli
WLAN	Wireless Local Area Network	Langaton lähiverkko

1. Luku:

Johdanto

Matkapuhelinten verkkoyhteydet ovat kehittyneet nopeasti menneinä vuosina. Nykyiset mobiiliverkkoteknologiat sallivat suurempia tiedonsiirtonopeuksia mobiileille päätelaitteille, jolloin käyttäjille avautuu mahdollisuus dataintensiivisemmille palveluille, kuten liikkuvan kuvan katsomiseen. Liikkeelläolo luo kuitenkin omanlaisia haasteita dataintensiivisten palveluiden käyttöön. Etenkin videon katselun tapauksessa erityisen tärkeää käyttäjän kannalta on palvelun katkeamattomuus, sen saumattomuus kuin myös videon kuvan laatu riippumatta taustalla toimivasta yhteydestä ja verkkoyhteyden laadusta.

Diplomityön tarkoituksena on tutkia mobiiliverkkoyhteyden laadun ja käyttäjäkokemuksen suhdetta mobiilin videon katsomisen yhteydessä ja tämän yhteyttä kokemuksen laatuun. Mobiililla videon katselulla tarkoitetaan tässä tapauksessa videoiden katselua liikkeessä, eli tilanteessa, jossa päätelaite – useimmin matkapuhelin tai taulutietokone, mutta myös kannettava tietokone – on jatkuvassa verkkoyhteydessä mobiilidatan kautta ja samaan aikaan liikkeessä.

1.1. Työn rakenne

Tämän tutkimuksen kirjallisuussosiossa tullaan tarkastelemaan tiettyjä teoreettisia käsitteitä, erityisesti käyttäjäkokemusta ja kokemuksen laatua. Näitä tarkastellaan mobiilin videon katselun viitekehyksestä käsin. Kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan teoriaa tutkimuskysymyksenä olevan mallin pohjaksi. Kirjallisuussosion jälkeen tutustutaan mitattuun dataan, joka saadaan Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulun tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitoksen NetRadar-sovelluksesta. Tämän datan pohjalta yhdessä tutkitun teorian kanssa luodaan malli siitä, miten videonkatselu liikkeessä onnistuu annettujen reunaehtojen, kuten liikkeessä tapahtuvan tiedonsiirron laadun, käyttäjäkokemuksen ja kokemuksen laadun puitteissa. Lopuksi kootaan tutkimus yhteen ja analysoidaan lopputulos sekä keskustellaan tutkimuksen vaiheista, sen etenemisestä ja sen onnistumisesta sekä

siitä mihin tästä voidaan jatkaa ja millaisia sovelluksia tällaiselle mallille olisi.

1.2. Tutkimuksen taustaa

Tämän tutkimuksen taustalla on mobiilin videon katselun yleistyminen ja suosion kasvu. Mobiili dataliikenne on saavuttanut 50 teratavun rajapyykin vuonna 2015 ja viimeisen muutaman vuoden aikana se on kasvanut keskimäärin 70 % vuosittain, lisäksi dataliikenteen kasvun ennustetaan jatkuvan 50-60 % vuosittain (Gartner, 2015). Tutkimusyhtiö Gartnerin analyytikoiden mielestä suurin yksittäinen syy tälle kasvuvauhdille on mobiili videon katselun yleistyminen: se vie koko mobiilista dataliikenteestä noin puolet ja sen ennustetaan vievän jopa 60 % kaikesta mobiilidataliikenteestä vuonna 2016 (Gartner, 2015). Kaikesta videonkatselusta lyhyitä, alle viiden minuutin kestoisia videoita katsotaan mobiililaitteilla 58 % ja pitkäkestoisia, yli viiden minuutin pituisia videoita 36 % (Marshall, 2015).

Erään tutkimuksen mukaan videoita katsellaan toistaiseksi lähinnä kotona älypuhelimilla ja enimmäkseen videopalveluiden sovelluksilla, mutta myös älypuhelimien selaimella ja enenevässä määrin myös kodin ulkopuolella ja liikkeessä. Videot, joita katsellaan, ovat luonteeltaan lähinnä lyhyttä ajanvietettä, mutta pitkäkestoisen sisällön trendi on ollut kasvava. Lisäksi käyttäjien mielestä tärkeimmät tekniset tekijät mobiilin videon katselun suhteen ovat: hyvä kuvanlaatu, lataus- ja uudelleenpuskuroinnin hyvä nopeus sekä hyvä äänenlaatu. (IAB, 2015)

Näihin seikkoihin nojaten on ensisijaisen tärkeää saada mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksesta ja kokemuksen laadusta jonkinlainen malli, jota voitaisiin soveltaa esimerkiksi videopalveluja kehitettäessä sekä selvitettyessä niiden sopivuutta erilaisiin käyttöympäristöihin ja -tilanteisiin.

1.3. Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksiä on valittu tähän diplomityöhön kaksi kappaletta. Nämä tutkimuskysymykset rajaavat diplomityössä käsiteltävää teemaa ja rajaavat sen rakennetta. Kysymysten ohessa on listattu myös tarkentavia seikkoja tutkimuskysymyksiin liittyen

1. Mitkä asiat vaikuttavat liikkuvassa tilanteessa tapahtuvan videon katselun käyttäjäkokemukseen?

Onko tieteellisessä kirjallisuudessa tutkittu verkkoyhteyden laadun suhdetta käyttäjäkokemukseen ja jos on, miten? Minkälaisia yhteyksiä käyttäjäkokemuksella voi olla kvantitatiiviseen dataan esimerkiksi palvelun laadusta? Millainen malli voidaan luoda mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksesta ja kokemuksen laadusta?

2. Millainen malli on luotavissa olemassa olevalla teorialla ja annetulla datalla?

Miten malli rakentuu? Antaako malli realistisen kuvan todellisuudesta annetulla datalla? Miten voidaan arvioida mobiilin videon katselun käyttäjäkokemusta tilanteessa, jossa videon katselu tapahtuu liikkeessä kohdan 1 mallin perusteella? Millaisia tuloksia saadaan?

Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten tehdään kirjallisuuskatsaus alan tieteelliseen kirjallisuuteen ja selvitetään, onko aiheesta tehty aiempaa tutkimusta. Alan kirjallisuuden perusteella selvitetään, millä tavoin käyttäjäkokemus ja kokemuksen laatu yhdistyvät mobiiliin videon katseluun. Lisäksi pohditaan jo, millainen teoreettinen malli voidaan luoda mobiilidatan laadun ja käyttäjäkokemuksen välille. Toisen kysymyksen kohdalla sovelletaan ensimmäisen tutkimuskysymyksen perusteella luotua teoreettista pohjaa ja luodaan malli, jonka perusteella voidaan arvioida liikkeessä tapahtuvan videon katselun käyttäjäkokemusta.

1.4. Tutkimuksen laajuus ja rajaus

Tutkimuksessa keskitytään tutkimaan kirjallisuutta, sitä millaisia ratkaisuja se tarjoaa mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen malliksi. Diplomityö tehdään projektityönä yliopistolle ja tutkimus tehdään erittäin rajatuissa olosuhteissa. Rajoittava tekijä on erityisesti diplomityön tekoon käytettävä aika. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää rajata aihe huolella.

Tässä työssä emme ole kiinnostuneita mm. videoiden sisällöstä tai sisällön soveltuvuudesta mobiiliin käyttöön muilta osin kuin soveltuuko se teknisesti siihen. Videoita voidaan katsoa monenlaisella mobiilipäätelaitteella, mutta

olemme erityisesti kiinnostuneita uuden sukupolven älylaitteista, kuten älypuhelimista. Älypuhelimissa videoita voidaan katsoa niin selaimen kuin videopalveluiden omilla sovelluksillakin. Tutkimuksen kannalta kumpaa tarkastellaan ei ole tärkeää. Videon kuvanlaatuun ei myöskään kiinnitetä huomiota muutoin kuin siltä osin, että selvitetään sille malliin soveltuva riittävä taso

Tutkimuksessa ei myöskään ole aikataulurajauksen vuoksi mahdollista toteuttaa itse kvalitatiivista dataa tuottavaa käyttäjäkokemuksen kyselyä tai muuta käyttäjätutkimusta. Tarkoituksena on selvittää kirjallisuuskatsauksen perusteella, millaisia mahdollisuuksia olisi mitata käyttäjäkokemusta ilman käyttäjien osallistumista ja minkälaisia tuloksia siitä on saatu. Näin voidaan esimerkiksi ajatella yhteyden laadun teknisiä vaatimuksia ja verrata sitä siihen minkälaista dataa saamme todellisuudessa tehdyistä mittauksista ja selvittää minkä tyyppistä käyttäjäkokemusta ne mahdollisesti esittävät ja siten muodostaa siitä kokemuksen laadun malli tai mittari. Näin saamme arvion subjektiivisesta kokemuksen laadusta perustuen tutkittuun tietoon ja objektiiviseen dataan. Lopuksi testataan malli muutaman testitapauksen avulla.

2. Luku:

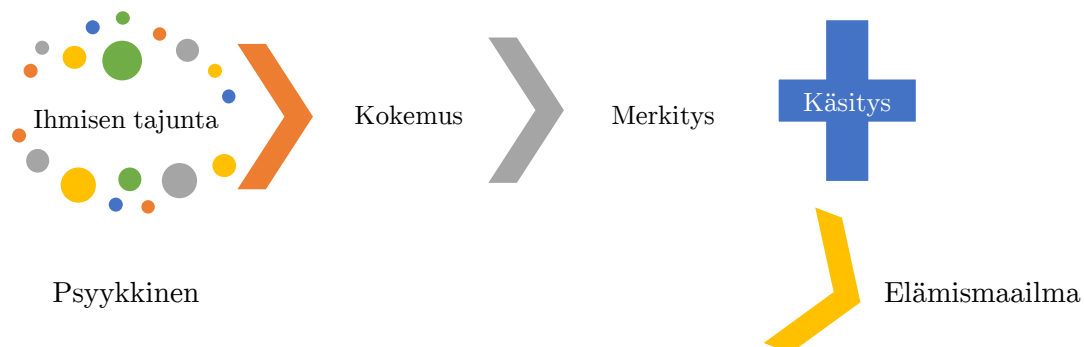
Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on toimia tutkimuksen teoriaosana ja tarkastella useita teoreettisia viitekehyksiä ja käsitteitä, joita tarvitaan tutkimuskysymyksiä varten pohjaksi. Näitä käsitteitä ovat mm. kokemus psykologisena käsitteenä, käyttäjäkokemus (User Experience), kokemuksen laatu (Quality of Experience) ja myös palvelun laatu (Quality of Service). Erityisenä näkökulmana otetaan näiden suhde videopalveluihin. Kappaleessa esitellään myös aiempaa mahdollisesti aiheeseen liittyvää tutkimusta ja niiden suhdetta tässä työssä oleviin tutkimuskysymyksiin.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella luodaan yksinkertainen malli, siitä miten käytettävissä oleva verkkoyhteyden kapasiteetti (bittinopeus) ja sen katkeamattomuus tai vaihtelevuus vaikuttavat käyttäjän kokemukseen videon katsomiseen liikkeessä.

2.1. Kokemus ja vuorovaikutus psykologisina käsitteinä

Kokemukselle käsitteenä ei ole yksiselitteistä määritelmää. Kokemuksen selaisenaan voidaan ajatellaan koostuvan erilaisista tilanteista ja niihin liittyvistä vuorovaikutustilanteista (Perttula, 1995). Tällöin kokemus voidaan esittää yksilön oppimiskyknä yhdistettynä se kulttuuriin sopeutumiseen liittyvien sosiaalisen vuorovaikutuksen taitoihin ja näihin liittyviin prosesseihin alla olevan kuvan 1 mukaan (Perttula & Latomaa, 2009). Toisaalta kokemuksesta puhutaan aistimuksien, toiminnan, ajattelun ja tunteiden pakkettina, joka tulkittuna ja nimettynä muodostaa tarinan, jota voidaan esimerkiksi jakaa (Hassenzahl, 2010).



Kuva 1: Tarina: kokemuksen rooli ja määritelmä osana tarinaa, mukailtu (Perttula & Latomaa, 2009) mukaan.

Kokemusta voidaan ajatella myös aivojen sisäisenä prosessina muuttaa koettuja tapahtumia kokemuksiksi, eli muistoiksi tiedostamattoman ja tiedostetun itsekeskustelun, eli reflektion kautta (Forlizzi & Battarbee, 2004). Hassenzahlin mukaan (2008) kokemusta tulisi tarkastella itsekeskustelun ja reflektion sijaan objektiivisesti tilanteissa, jossa ihminen ja laite tai palvelu toimivat vuorovaikutuksessa keskenään.

Kokemuksen käsitteestä vuorovaikutussuunnittelun parissa on pyritty luomaan selkeää mallia mm. jakamalla kokemus erilaisiin tyyppeihin, kuten:

- Yleiseen jatkuvaan kokemiseen (experience), jossa kokemus muodostuu jatkuvasta ulkopuolisten tapahtumien havainnoimisesta ja siitä, miten suhteutamme tavoitteitamme näihin tapahtumiin.
- Erityiseen ainutkertaiseen kokemukseen (an experience), joka on tunnistettu, nimetty ja yksilöity ja johon liittyy vahva loppuunsaattamisen tunne.
- Yhdessä kokemiseen (co-experience), jolla tarkoitetaan kokemuksen muodostumista yhdessä muiden kanssa ja sen jaettavuutta.

(Forlizzi & Battarbee, 2004)

2.2. Käyttäjäkokemus (User Experience)

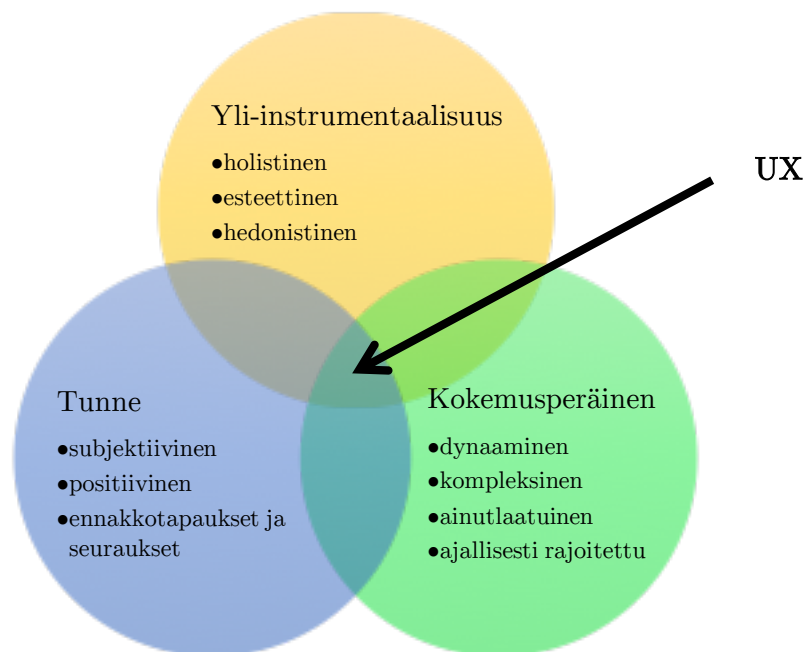
Käyttäjäkokemus, tai käyttökokemus (User Experience, lyhennettynä UX) on laaja, monialainen käsite, joka nimensä perusteella viittaa käyttäjän kokemuksiin. Käyttäjäkokemus on standardoitu käsite, mutta standardoinnistaan huolimatta niin tutkijat kuin yritysmaailmakin pitää käyttäjäkoke-musta laajana käsitteenä, jolle on monta määritelmää (All About UX, 2011) ja jota voidaan pitää subjektiivisena, vaihtelevana, sekavana ja tilannesidon-naisena ja toisaalta siihen sidotaan mukaan myös ihmistietokonevuorovai-kutuksen tehtäväorientoituneen ajattelun ulkopuolisia tekijöitä kuten kau-neutta ja hauskuutta (Hassenzahl & Tractinsky, 2006). Toisaalta esimerkiksi vuonna 2008 tehdyn laajan kyselytutkimuksen mukaan alalla työskentele-vien käsitys käyttäjäkokemuksesta vastasi seuraavaksi esiteltyä standardia melko tarkkaan (Law, et al., 2009).

Käyttäjäkokemus on määritelty kansainvälisen standardoimisorganisaation (ISO) toimesta standardissa ISO-9421: Ihmisen ja järjestelmien välisen vuoro-vaikutuksen ergonomia, osassa 210: Vuorovaikutteisten järjestelmien käyttäjäkeskeinen suunnittelu. Määritelmän mukaan käyttäjäkokemus on ”henkilön tuotteen, järjestelmän tai palvelun oletetusta käytöstä syntyvät havainnot ja vasteet” ja käyttäjäkokemukseen lasketaan kuuluvaksi standar-din mukaan myös käyttäjän tunteet, uskomukset, mieltymykset, fyysiset ja psyykkiset vasteet, käyttäytyminen ja aikaansaannokset, jotka syntyvät en-nen käyttöä, käytön aikana ja käytön jälkeen (ISO, 2010). Näin ollen käyt-täjäkokemus voidaan tiivistää neljään osaan (Hassenzahl, 2010):

- 1) subjektiivisuus, eli samanlaiset vuorovaikutukset johtavat erilaisiin kokemuksiin,
- 2) kokonaisvaltaisuus, eli kokemus alkaa yksilön motorisista tavoitteista ja päättyy yksilön tavoitteisiin kokonaiskokemuksesta,
- 3) tilannesidonnaisuus, eli kokemus on ainutkertainen ja yksilöllinen sekä
- 4) dynaamisuus, eli kokemuksen muuttuminen ajan mittaan.

Nielsen Norman Group (2015) ottavat käyttäjäkokemuksen määrittelyyn mukaan myös käyttäjän vuorovaikutuksen yrityksen kanssa sen luomien palveluiden ja tuotteiden lisäksi ja siten muistuttaa määritelmältään enemmän myöhemmin esiteltävää asiakaskokemusta.

Käyttäjäkokeumus voidaan ajatella niin kokemuksellisen, instrumentaalisen kuin emotionaalisen näkökulman kautta alla kuvatulla tavalla:



Kuva 2: Käyttäjäkokeumuksen määrittely eri näkökulmien kautta (Hassenzahl & Tractinsky, 2006) mukaillen

Yli-instrumentaalisilla seikoilla, kuten holistisuudella, esteettisyydellä ja hedonismilla tarkoitetaan käyttäjäkokeumuksen niitä osa-alueita, jotka eivät liity suoraan itse tuotteen funktioon, vaan siitä syntyviin tunteisiin, jotka ovat subjektiivisia ja niiden tulisi olla luonteeltaan positiivisia ja ne tulisi

tallentaa kokemusperäisiksi kokemuksiksi, jotka voivat olla vaihtelevia, monimutkaisia, ainutkertaisia ja ajallisesti rajattuja (Hassenzahl & Tractinsky, 2006).

Kuvan 2 esittämän Venn'n diagrammin kaikkien kehien yhteisesti rajaama, päällekkäinen alue kuvan keskellä määrittelee sen, mitä voidaan kutsua laajalla tasolla käyttäjäkokemukseksi. Siten esimerkiksi Hassenzahlin ja Tractinskyn (2006) katsontakannan mukaan saadaan kaikki oleelliset käyttäjäkokemuksen määritelmät ja näkökulmat mukaan käyttäjäkokemuksesta kuvaavaan yleiseen viitekehykseen.

Käyttäjäkokemus voidaan rajata ajallisesti siten, että se muodostuu aiempien kokemusten ja tietämysten luomista odotuksista, hetkellisistä kokemuksista järjestelmän tai palvelun parissa, jaksottaisista kokemuksista sekä kokonaiskäyttäjäkokemuksesta (Roto, et al., 2011). Toisin sanoen, käyttäjäkokemuksen voidaan katsoa syntyvän jo ennen varsinaista järjestelmän tai palvelun käyttöönottoa ja jatkuvan vuorovaikutusjakson jälkeenkin.

Entä mikä ero on käyttäjäkokemuksella ja asiakaskokemuksella? Asiakaskokemuksesta on perinteisesti ajateltu laajempaa kokonaisuutena, johon käyttäjäkokemus vahvasti liittyy, mutta ei ole välttämättä sen ainoa osa-alue. Tätä havainnollistaa kuva 3. Asiakaskokemukseen vaikuttavat myös esimerkiksi asiakkaan suhde yrityksen brändiin, kokonaiskokemus, suositeltavuus, asiakkaana olemisen pysyvyys, jne. (Kellingey, 2014).



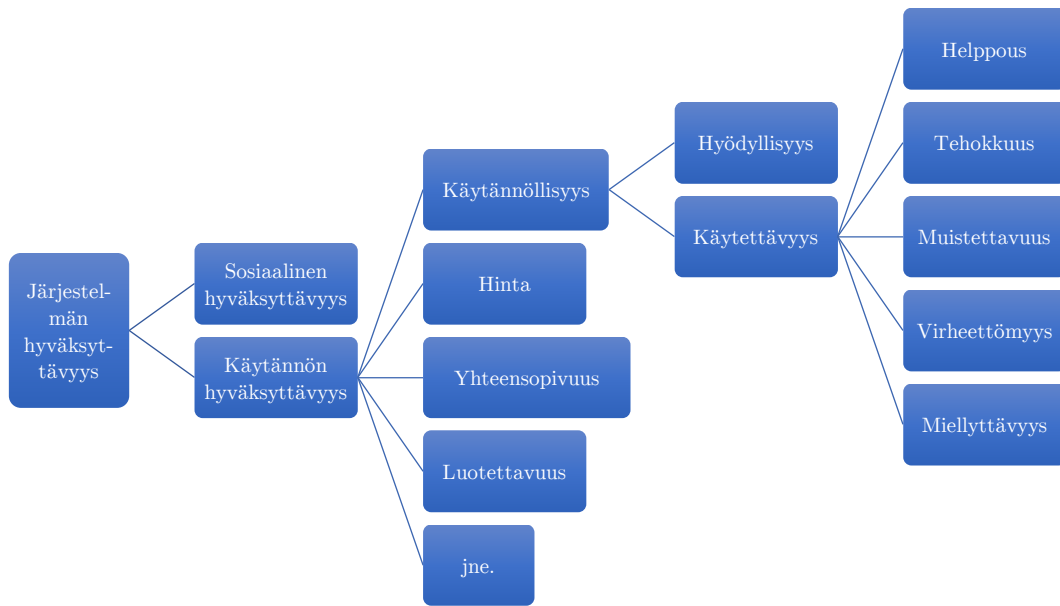
Kuva 3: Käyttäjäkokemuksen suhde asiakaskokemukseen mukaillen Lowdenin näkemystä (2014)

Tämän tutkimuksen osalta on kuitenkin luontevaa tarkastella vain käyttäjäkokemusta. Olemme kiinnostuneita siitä, miten verkkoyhteyden laadun muutokset vaikuttavat palvelun käyttöön liittyviin kokemuksiin, saavat käyttäjän jatkamaan palvelun käyttöä ja synnyttävät käyttäjälle tunteiden ydinvaikutuksen osalta mielihyvää ja hyviä vaikutteita ja ärsykeitä (Russell, 2003) ja siten synnyttävät myönteisen käyttäjäkokemuksen. Toisesta näkökulmasta katsottuna asiakaskokemus on erittäin tärkeää liiketoiminnan näkökulmasta, sillä asiakkaan asiakaskokemukseen ja sitä kautta yrityksen talouteen vaikuttaa erittäin vahvasti tuotteen tai palvelun käyttäjäkokemus (Gentile, et al., 2007). Toisin sanoen, miten tekninen laatu vaikuttaa käyttäjäkokemukseen tietyn tyyppisessä olosuhteessa.

2.3. Kokemuksen laatu (Quality of Experience)

Quality of Experience (QoE), suomeksi kokemuksen laatu, liittyy vahvasti käyttäjäkokemukseen. Kokemuksen laadulla tarkoitetaan loppukäyttäjän kokemaa subjektiivista palvelun tai sovelluksen kokonaishyväksyttävyyttä ja se pitää sisällään kaikki vaikutukset, jotka kuuluvat järjestelmän rakenteeseen päästä päähän (päätelaitteet, yhteydet ja verkon infrastruktuuri) ja kokonaishyväksyttävyyteen vaikuttavat myös loppukäyttäjän odotukset sekä käytön asiayhteys (ITU, 2006).

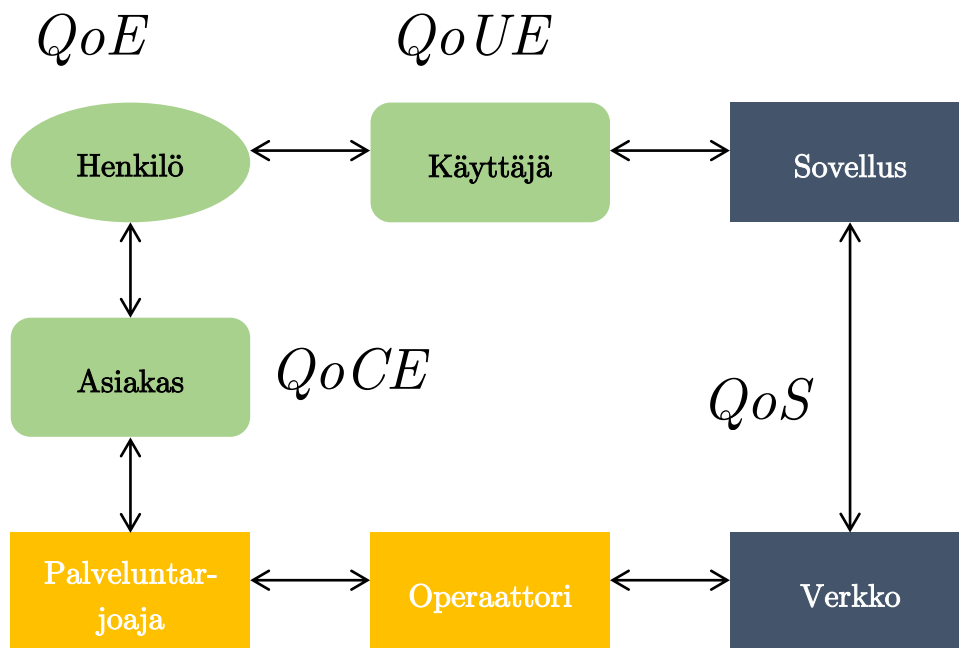
Kokonaishyväksyttävyydellä tarkoitetaan sitä, onko järjestelmä, eli tässä tapauksessa palvelu tai sovellus, tarpeeksi hyvä, jotta sen avulla loppukäyttäjät ja mahdollisesti muutkin sidosryhmät saavuttavat toiminnalleen asettamansa tavoitteet ja vaatimukset. Se koostuu sosiaalisesta hyväksyttävyydestä ja käytännön hyväksyttävyydestä. Sosiaalinen hyväksyntä pitää sisällään millaisia tunteita järjestelmän käyttö tai sen sisältö aiheuttaa – esimerkiksi kysyykö palvelu tai sovellus häiritseviä kysymyksiä käyttäjältä. Sosiaalinen hyväksyttävyys on subjektiivista eikä liity suoraan käytännön hyväksyttävyyteen vaan on hyvin itsenäinen osa kokonaishyväksyttävyyttä. Käytännön hyväksyttävyyteen kuuluvat niin järjestelmän hinta, yhteensopivuus muiden järjestelmien kanssa, sen luotettavuus ja eritoten sen käytökelpoisuus. Käyttökelpoisuus voidaan jakaa kahteen kategoriaan: hyödyllisyyteen ja käytettävyyteen. Kuva 4 esittelee kokonaishyväksyttävyyden mallia ja sen hierarkkista rakennetta. Lisäksi kuvassa on esitelty myös käytettävyyden määritelmä ja siihen kuuluvat asiat. (Nielsen, 1993)



Kuva 4: Kokonaishyväksyttävyyden malli (Nielsen, 1993)

Niin tekniset kuin ei-teknisetkin seikat palveluissa vaikuttavat kokemuksen laatuun kokonaisuudessaan. Teknisiä seikkoja ovat mm. verkon laatu, verkon kattavuus sekä päätelaitteen toiminnallisuus, kun taas ei-teknisiä, subjektiivisia seikkoja ovat mm. käytön aloittamisen helppous, palvelun sisältö, hinnoittelu ja asiakastuki. QoE:n voidaan sanoa muodostuvan myös käytettävyydestä, saavutettavuudesta, esteettömyydestä, säilytettävyydestä ja palvelun kokonaisuudesta. Palveluntarjoajilla on suuri rooli palvelun laadun arvoketjussa, sillä heillä on suurin vaikutusmahdollisuus niin sovelluksiin, sisältöön kuin teknisiin osa-alueisiin koko käyttökokemuksen osalta. He voivat vaikuttaa verkon infrastruktuuriin, mahdollisiin loppukäyttäjän sovelluksiin, sisältöön ja sen esilletuomiseen sekä teknisiin ratkaisuihin. Näin ollen palveluntarjoajat kantavat myös suurimman panoksen siitä, että kokemuksen laadun tulee olla oikein optimoitu jokaisella siihen vaikuttavalla osa-alueella. Kuinka sitten palvelun teknillinen laatu ja kokemuksen laatu liittyvät toisiinsa? Varmistamalla tekniset toiminnallisuudet ja teknisen palvelun laatu, voidaan saavuttaa myös suurin mahdollinen kokemuksen laatu. Täten kokemuksen laatu ja palvelun laatu ovat tiukasti yhteen sidottuja ja QoE:tä ei voida ajatella olevan ilman palvelun laatua (Quality of Service, QoS). (Muhammad, et al., 2006)

Kokemuksen laatu voidaan jakaa myös alakategorioihin, kuten käyttäjäkokemuksen laatuun (Quality of User Experience, QoUE), asiakaskokemuksen laatuun (Quality of Customer Experience, QoCE) sekä sosiaalisen kokemuksen laatuun (Quality of Social Experience, QoSE), jolloin ne soveltuvat eri käyttötarkoituksiin riippuen mitä osaa nk. tietoliikenteen ekosysteemistä tarkastellaan (Kilkki, 2008). Tietoliikenteen ekosysteemi on tietoliikennetekniikan ekosysteemiajattelun malli, johon kuuluu neljä aluetta: ihminen, talous, tekniikka ja järjestelmätiede (Kilkki, 2010). Tämä ekosysteemimalli kuvaa yksilön tarpeita ja kykyjä ja mallintaa niiden perusteella yksilön käyttäytymistä asiakkaana ja tuotteen käyttäjänä (Kilkki, 2008). Malli on esitelty graafisessa muodossa alla olevassa kuvassa 5.



Kuva 5: Tietoliikennetekniikan ekosysteemin malli (Kilkki, 2008)

Kokemuksen laadussa yleisesti on vahva subjektiivinen näkökulma (Brooks & Hestnes, 2010). Kun tuote tai palvelu siirtyy ns. edistyneiltä alkukäyttäjiltä (early adopters) valtavirtakäyttäjille, kokemuksen laadulla on suuri merkitys, sillä alkukäyttäjää kiinnostavat lähinnä esimerkiksi tuotteessa tai palvelussa käytetyt teknologiat ja tekniikat, kun taas tavalliset käyttäjät

ovat päämääräntietoisia ja haluavat, että heidän käyttämänsä tuote tai palvelu ratkaisee heidän ongelmansa mahdollisimman helposti ja tehokkaasti (Jain, 2004). Näin ollen, QoE ei rajoitu pelkästään interaktioihin eri ekosysteemin osa-alueiden välillä, vaan se on hyvin monialainen käsite, joka vaikuttaa suoraan yrityksen menestykseen (Laghari, et al., 2012).

Kuka tarvitsee QoE-tietoa? Kokemuksen laatuun liittyvälle datalle voidaan määritellä avainkäyttäjiä tai -osakkaita, jotka hyötyvät suuresti QoE-tiedosta menestyäkseen työssään. Alla olevassa taulukossa 1 on listattuna esimerkiksi tiettyjä avainosakkaita, joille QoE on tärkeää tietoa ja vaikuttaa suoraan tai epäsuorasti heidän työhönsä (Brooks & Hestnes, 2010).

Taulukko 1: QoE:n avainosakkaat, mukaillen (Brooks & Hestnes, 2010)

Teknisesti suuntautuneet	Asiakassuuntautuneet	Johto
Tuotestrategisti	Markkinointi	Toimitusjohtaja
Palvelunkehittäjä	Palveluportfolioasian-	Tekninen johtaja
Järjestelmäintegraattori	tuntija	Markkinointijohtaja
Projektinvetäjä	Myyjä	Strategiajohtaja
Service Level Agreement (SLA) –neuvottelija	Myynnin tuki	Operaatiojohtaja
Tekninen tutkija	Asiakastuki	Tutkimusjohtaja
Vuorovaikutussuunnittelija	Projektinvetäjä	Kehitysjohtaja
Sovelluskehittäjä	Ihmistekijöiden tutkija	Myyntijohtaja
Tekninen kehittäjä	Palveluntarjoaja	

Videon laadun mittaamiseen liittyy erilaisia testikeinoja, mittareita ja arviointityökaluja, joista tässä kappaleessa esitetään tutkimuksen kannalta oleelliset. Osa näistä testeistä toimii niin avainlukuina kuin –mittareina-kin ja monet ovat mukana muodostamassa kokonais-QoE:ta. Testit on esitelty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2: Yhteenveto videon laadun mittareista, joita voidaan liittää kokemuksen laatuun

Arviointityökalu	Lähde	Selitys
MOS (Mean Opinion Score)	(ITU, 1996)	Pisteytystesti, jolla saadaan subjektiivinen arvio yhteyden laadusta.
SVQ (Subjective Video Quality)	(ITU, 2008a)	Kertoo subjektiivisen arvion videon laadusta, katsojan kokemana, MOS-perusteinen.
PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality)	(ITU, 2008b)	Standardoitu 5-portainen MOS-perusteinen E2E mittausalgoritmi videon kuvan laadulle
Structured similarity (SSIM)	(Wang, et al., 2004)	Tilastollinen mittari, joka laskee keskiarvojen, keskihajontojen ja kovarianssien avulla kuvan laatu-arvion.
Mean Squared Error (MSE)	(Richardson, 2003)	Pikselipohjainen neliöllinen keskiarvovirhe, joka ei ota huomioon videon rakennetta tai ihmisen havainnointikykyä.
Peak Signal-Noise Ratio (PSNR)	(Richardson, 2003)	MSE:tä käyttävä mittari/testi, joka käyttää lisäksi myös pikselien intensiteettijakauman
VMOS (Video-Mean Opinion Score)	(Shen, et al., 2012)	Yhteystapariippumaton testi suora-toistettavan videon katselun kokemuksen analysoimiseen

Yleisin QoE:n määrittämiseen käytetty testityyppi tai pisteytystapa on nk. Mean Opinion Score (MOS), eli mielipideasteikon keskiarvo, joka perustuu kansainvälisen tietoliikenneliiton ITU:n suositukseen P.800 (1996) puhelin-yhteyden äänen laadun subjektiiviseen arviointiin. Käyttäjät antavat standardoidussa, subjektiivisissa testitilanteissa puhelin-yhteyden äänen laadulle arvosanoja yhdestä viiteen sen perusteella, miten kuultu äänen laatu vertautuu verrokkiin (ITU, 1996). Itse MOS lasketaan annettujen arvosanojen

keskiarvona. MOS-tyyppisten testien käyttöä kuitenkin vältetään markkinoilla, koska se vaatii kohtuuttomasti ihmistyövoimaa toteuttamiseen (Shen, et al., 2012). Vastaavalla tavalla subjektiivista videon laatua (Subjective Video Quality) voidaan myös mitata vertaamalla verrokkivideota tietyn tyyppisesti prosessoituihin videoihin ja siten antaa arvosanoja siinä koettuun videon laadulle (ITU, 2008a). Tämänkaltaisia testejä voidaan myös automatisoida. Perceptual Evaluation of Video Quality (PEVQ), eli videon laadun aistiarvio tuottaa MOS-lukuja videopalveluille automaattisesti algoritmin avulla (ITU, 2008b). Algoritmi vertailee kunkin annetun kuvaruudun pikseleitä verrokkiin ja pisteyttää tuloksen sen mukaan kuinka paljon testatun videon kuvaruutujen pikselit eroavat esimerkiksi pakkaamattomasta studiossa luodusta versiosta (OPTICOM, 2015). Tällöin puhutaan nk. FR-algoritmista (Full Reference), mutta on mahdollista mitata videon laatua myös kokonaan ilman referenssiä (NR, No Reference) tai pienennetyllä referenssillä (RR, Reduced Reference) (Fiedler, et al., 2010). Toinen FR-mittari on SSIM, Structured similarity, eli rakenteellinen samankaltaisuus, joka laskee keskiarvojen, keskihajontojen ja kovarianssien avulla kuvan laatuarvion. Huippuarvo signaalikohina-suhteesta (Peak signal-to-noise ratio, PSNR) voidaan myös käyttää videon laadun mittaamiseen muuntamalla sen arvoja mielipiteen arvoasteikon (MOS) arvosanaskaalalle (Khan, et al., 2010). PSNR lasketaan annetun kuvan ja vertailukuvan pikselikeskiarvojen erojen neliöiden summan keskiarvon avulla:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} [A_{x,y} - B_{x,y}]^2, \quad (1)$$

missä $A_{x,y}$ on vertailtavan kuvan $m \times n$ -näytematriisin A alkio ja $B_{x,y}$ vertailukuvan $m \times n$ -näytematriisin B alkio. Tästä saamme PSNR:lle kaavan:

$$PSNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{(2^{bits} - 1)^2}{MSE}, \quad (2)$$

missä $bits$ on kuvan pikseleissä käytetty bittimäärä ja $2^{bits} - 1$ on suurin mahdollinen pikseliarvo (Richardson, 2003). Tyypilliset arvot videoille liikkuvat 20-40 dB paikkeilla (Amer & Dubois, 2005). Taulukossa 3 esitellään

PSNR:ään perustuvia QoE-estimaatteja. Shenin ja muiden (2012) Videon mielipideasteikon keskiarvo nojaa vain loppukäyttäjien tunteiden vaikuttamiin QoS-tunnuslukuihin, esimerkiksi viive, bittinopeus, viiveen vaihtelu, kokonais-QoE:ta arvioidessa.

Taulukko 3: Kuvanlaadun suhde mielipidearvion arvosanoihin 1 – 5

MOS	PSNR, dB (Shen, et al., 2012)	PSNR, dB (Calyam, et al., 2007)
5	>37	>36
4	31 – 36,9	34,6 – 35,9
3	25 – 30,9	31,8 – 34,5
2	20 – 24,9	28,6 – 31,7
1	<19,9	26 – 28,5

Voimme huomata, että kaikki esiteltyt mittarit nojaavat käyttäjän subjektiiviseen havainnointiin eivätkä ne ota kantaa esimerkiksi käyttäjän käytökseen, hänen fyysiseen vuorovaikutukseen testissä tai psykologisiin tekijöihin, jotka voivat syntyä käyttäjän havainnoista ja toimista riippumatta käyttökokemuksen aikana käyttäjän niitä tiedostamatta (Brooks & Hestnes, 2010). QoE:lle olisi hyvä erotella myös mittauskeinot objektiiviselle ja kvantitatiiviselle datalle (Fiedler, et al., 2010). Keinoja tähän on useita. Esimerkiksi mittaukset, joissa selvitetään mm. bittinopeutta ja viivettä tuottavat kvantitatiivista dataa (Brooks & Hestnes, 2010) Kun mitataan subjektiivisia muuttujia kvantitatiivisella intervalli- tai suhdeasteikolla, on mahdollista tilastollisesti kiteyttää, vertailla ja yhdistää kokonais-QoE:n toimenpiteitä, esimerkiksi:

- laskemalla mittausten keskiarvo eri palveluista
- laskemalla globaali pisteluku painotettuna lineaarikombinaationa alkuperäisistä muuttujista
- testaamalla ja vertailemalla QoE:n ja QoS: tasojen eroja.

Mittaamalla sekä subjektiivista että objektiivista käyttäjäkokemusta kvantitatiivisesti takaa myös sen, että voidaan käyttää monia eri tekniikoita globaalin QoE-luokitusten määrittelemiseen (Brooks & Hestnes, 2010).

Olemme tämän tutkimuksen parissa kiinnostuneita nimenomaan palvelun laatuun liittyvistä tunnusluvuista QoE:n mittaamisessa, koska emme itse tutkimuksen puitteissa selvitä käyttäjän kokemuksia kvalitatiivisin keinoin. Avainluvut ja -mittarit voivat olla myös hyvin kontekstisidonnaisia, esimerkiksi viiveen vaihtelu ja sen johdosta tapahtuva pätkiminen ei välttämättä vaikuta suuresti esimerkiksi latausnopeuksiin tiedostonsiirroissa, mutta sillä on suuri merkitys esimerkiksi jatkuvaa, hyvälaatuista verkkoyhteyttä vaativassa videon suoratoistossa (Muhammad, et al., 2006). Koska tutkimuksessa tarkastellaan erityisesti videon katsomisen käyttäjäkokemusta sellaisessa käyttökontekstissa, jossa käyttäjä on liikkeellä ja hänen päätelaitteessa on liikkeessä, mittariston valitsemisessa tulisi kiinnittää huomiota, siihen että mittaristo sopii esimerkiksi arvioimaan suoratoiston laatua (Soldani, et al., 2006). Tällaiseen tilanteeseen sopivia suorituskykymittareita (Key Performance Indicator, KPI) on esitelty alla olevassa taulukossa 4.

Taulukko 4: QoE:n suorituskykymittarit, mukaillen (Soldani, et al., 2006)

KPI	Suomeksi	Avainmittari	Selite
Service accessibility	Palvelun saavutettavuus	Hylättyjen yhteyksien suhde (%)	Kuvaa yhteyden pysyvyyttä perustettuna.
Continuity of service connection	Palvelun yhteyden jatkuvuus	Palvelun keskeytyksien suhde (%)	Kuvaa sitä, kuinka jatkuvana palvelu säilyy käytössä ja kuinka usein tulee keskeytys, joka keskeyttää koko käyttötilanteen
Quality of session	Istunnon laatu	Sovelluserroksessa pakettien menetyksen aste (%)	Kuvaa pakettien menetystä yhteyden aikana. Ei niin tärkeä tekijä esimerkiksi suoratoistossa.

Bit rate	Bittinopeus	Todellisen bittinopeuden suhde vaadittuun bittinopeuteen (%)	Kuvaa yhteysnopeuden suorituskkyä optimitilanteeseen verrattuna. Tärkeä bittinopeutta vaativissa palveluissa kuten videon suoratoistossa
Bit rate variation	Bittinopeuden vaihtelu	Bittinopeuden vaihtelu sovitun bittinopeuden suhteen (%)	Käyttäjä suosii tasaista bittinopeutta esim. suoratoistossa kuin paljon vaihtelevaa yhteysnopeutta.
Active Session throughput	Aktiivisen istunnon läpisyöttö	Päätelaitteeseen kohdistuva läpisyötön nopeus (kb/s)	Kuvaa datan läpisyöttöä päätelaitteeseen, tämän vaikutus QoE:hen vaikuttaa riippuu hyvin paljon esimerkiksi bittinopeudesta tietyissä tapauksissa.
System responsiveness	Järjestelmän reagoivuus	Vasteajan keskiarvo (s)	Kuvaa vasteaikaa ja viivettä käyttäjän ja palvelun välisessä vuorovaikutuksessa
End-to-end delay	Päästä päähän viive	Viiveen keskiarvo (ms tai s)	Kuvaa verkossa liikkuvan paketin viivettä, kun se siirtyy isännältä (host) määränpäähän. Suuri viive esimerkiksi suoratoistopalveluissa alentaa käyttäjäkokemuksen laatua
Delay variation	Viiveen vaihtelu	Viiveen vaihtelu (%)	Viiveen minimoimisesta huolimatta viiveen vaihtelu, eli viiveen keskiarvonta, voi vaikuttaa negatiivisesti käyttäjäkokemukseen.

Sopivimpia suorituskvyn mittareita tutkimustamme tarkastellessa ovat yhteyden jatkuvuus, bittinopeus, bittinopeuden vaihtelu, viive ja viiveen vaihtelu. Niiden vaikutus QoE:hen on suurin suoratoiston kannalta (Soldani, et

al., 2006) ja niihin tai osiin niistä on päätynyt myös joukko muita tutkijoita, kuten Siller & Woods (2003), jotka omassa mallissaan nojaavat viiveeseen, viiveen vaihteluun sekä pakettien katoamiseen. Pienikin viiveen vaihtelu vaikuttaa erittäin kielteisesti videon katselun laatuun ja pieninkin viiveen vaihtelun ilmaannuttua viiveen vaihtelun moninkertaistaminen ei juurikaan enää huononna koettua laatua (Claypool & Tanner, 1999). De Pessemier et al. (2013) ja Marcus Eckert (2012) ottivat lähtökohdakseen yhteyden läpisyöttökyvyn, jossa uudelleenpuskuroinnin keskeytykset ja videonkatselun juoksevuus nähdään tärkeänä kokonaistekijänä. Uudelleenpuskuroinnilla tarkoitetaan sitä, että videota ladataan päätelaitteen puskuriin toistoa varten, näin ollen voidaan varmistaa videon katselun katkeamattomuus mm. siten, että videosta ladataan kerralla enemmän kuin mitä käyttäjä katselee reaaliaikaisesti. Uudelleenpuskurointi on yksi merkittävimmistä syistä koko videolähetyksen uudelleenlähettämiseen ja palvelun käyttötilanteen loppumiseen, joskin käyttäjät suvaitsevat tietyn verran uudelleenpuskurointia (De Pessemier, et al., 2013) ja se on suoraan verrannollinen yhteysolosuhteisiin ja verkon tapaan jaotella yhteyksiä (Singh, et al., 2012). Taulukossa 5 on esitelty eräässä tutkimuksessa mitattuja uudelleenpuskuroinnin ominaisuuksien suhdetta palvelun laadun tasoon.

Taulukko 5: Uudelleenpuskuroinnin ominaisuuksien suhde palvelun laadun tasoihin (Mok, et al., 2011).

Taso	Aloituspuskuroinnin aika, s	Uudelleenpuskuroinnin taajuus, 1/s	Keskimääräinen uudelleenpuskuroinnin kesto, s
Korkea	>5	>0.15	>10
Keskitaso	1 – 5	0,02 – 0,15	5 – 10
Alhainen	0 – 1	0 – 0,02	0 – 5

Verkkoarkkitehtuuri pelaa myös isoa roolia kaistan allokoimisessa ja on ehdotettu QoE-perusteista verkkoyhteyden kapasiteetin hallintaan (Singh, et al., 2012).

Osassa näissä tutkimuksista on käytetty viisiasteista mielipideasteikkoa kokemuksen arvioinnissa siltä osin kuin käyttäjät ovat olleet mukana antamassa subjektiivista arviotaan. Myös objektiivisia mittauksia ja vertailuja pystytään tekemään käyttäjädatan perusteella, esimerkiksi tutkimalla minikälaisia bittinopeuksia videon toisto vaatii ja verrata sitä saavutettuihin bittinopeuksiin todellisissa käyttötilanteissa (Eckert, 2012). Tällöin tarvitsemme tietoomme yhteysnopeuksia, todellisia ja mitattuja sekä myös verrokiksi esimerkiksi yhteystyyppin mukaisia maksimeja.

Eräässä tutkimuksessa PSNR-arvoja määriteltiin nk. GAP-malliin (Good, Acceptable, Poor), jossa erityyppisiä VVoIP (Voice and Video over IP) yhteyden laatuun liittyviä mitattuja arvoja, kuten kaista, viive, viiveen vaihtelu ja (pakettien) menetys, asennettiin kolmiportaiseen hyväksyntämalliin, jossa tasot ovat mallin nimensä mukaisesti: hyvä (MOS 5), hyväksyttävä (MOS 3-4), huono (MOS 1-2) ja testattiin käyttäjillä (Calyam, et al., 2007).

Kokemuksen laatu liittyy läheisesti toiseen tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikassa olevaan laadun käsitteeseen: palvelun laatuun (Quality of Service, QoS), josta tarkemmin kerrotaan lisää seuraavassa alaluvussa.

2.4. Palvelun laatu (Quality of Service)

Quality of Service (QoS, suomeksi palvelun laatu) kattaa ne laadulliset ja tekniset käsitteet, ominaisuudet, osat ja tavat, joita tarvitaan sovelluksen ja verkon välisen rajapinnan hallitsemiseen (Kilkki, 2008). Toisaalta QoS voidaan määritellä verkon kyvyksi taata asiakkaalle palvelua tietyllä, varmistetulla palvelutasolla ja se kattaa kaikki matkapuhelinverkon ja päätelaitteen toiminnallisuudet, toiminnot ja menetelmät, joilla taataan neuvoteltu palvelun laadun varustelu tai sovitus käyttäjän laitteiston (user equipment, UE) ja ydinverkon (core network, CN) välillä (Muhammad, et al., 2006). QoS:llä on myös standardoitu määritelmä, jonka on muotoillut kansainvälinen tietoliikenneunioni (International Telecommunication Union, ITU): Kaikki ominaisuudet tietoliikennepalvelussa, jotka vaikuttavat sen kykyyn tyydyttää käyttäjän tarpeet käyttää palvelua (ITU, 2008c).

Palvelun laatu on nähty ensisijaisesti teknisenä tapana mitata yhteyden fyysistä laatua ja toiminnallisuutta. Sen standardoidussa määritelmässä on kui-

tenkin käyttäjäulottuvuus mukana, mutta vain siltä osin, että palvelun laadun tulee palvella käyttäjän vaatimuksia. Käyttäjän subjektiivinen kokemus puuttuu QoS:stä ja sitä varten on luotu QoE kuvaamaan käyttäjän subjektiivisen kokemuksen laatua. QoS nojaa vain ja ainoastaan ihmisistä riippumattomiin seikkoihin ja objektiiviseen dataan. Mitä on sitten laatu? Laatu voidaan määritellä kolmella tapaa (Deoras, et al., 2003):

- Laatu toiminnallisuutena: tällöin laatu ajatellaan toiminnallisuuksien määränä, jonka palvelu voi tarjota käyttäjilleen. Esimerkiksi palvelu tarjoaa valinnan varaa lähetyksen seuraamisen tavoissa.
- Laatu noudattamisena: tällöin laatu ajatellaan synonyymiksi sille, että palvelu täyttää mahdollisimman monenlaisia vaatimuksia. Esimerkiksi operaattori voi luvata asiakkailleen nopeustakuun, eli verkoyhteyden nopeus ei laske alle sovitun rajan.
- Laatu maineena: tällöin laatu yhdistetään käyttäjien havaintoihin palvelusta yleisluontoisesti. Esimerkiksi tiettyjen hyvämaineisten instituutioiden tarjoama sisältö palvelussa.

Eri laadun käsitteet vaativat eri keinoja seurata palveluiden QoS:ää (Deoras, et al., 2003).

Toisaalta QoS:ssä on nähty ja tehty jako teknisiin ja inhimillisiin ulottuvuuksiin. Inhimillisiä tekijöitä ovat mm. palvelulaadun vakaumus, kaistan saatavuus, odotusajat, virheiden korjausajat, tilaajainformaatio ja mm. järjestelmän stabiliteetti ja teknisiksi seikoiksi voidaan laskea esimerkiksi sellaiset tekijät kuin luotettavuus, laajennettavuus, tehokkuus, ylläpidettävyys, yhteyden laadukkuus ja ruuhkautuvuus (Peuhkuri, 1999). Näiden käsitteiden mittaamiseen vaadittavat tunnusluvut ja mittarit muistuttavat isoilta osin niitä avainlukuja ja -mittareita, joita sivuttiin edellisessä alaluvussa QoE:n mittaamisessa.

Näin ollen voidaan sanoa, että QoS on lähinnä objektiivisia ja kvantitatiivisia mittareita, jotka ovat sovellettu ja mallinnettu esimerkiksi IP- ja TCP-protokollatasolle ja toimivat yleensä yhteyden laadun mittareina ja laadullisina varmistimina ja ovat riippumattomia käyttäjän subjektiivisista näkemyksistä ja kokemuksista.

Mihin QoS tarvitaan ja mitä hyötyä siitä on? QoS:n eduiksi voidaan laskea mm.

- mahdollisuus verkoille tukea multimediaspalveluita ja sellaisten palveluiden vaatimuksia, jotka ovat kaistaintensiivisiä,
- mahdollisuus operaattorille hallinnoida verkkoa ja verkkoresurssejaan,
- tuki palvelulupauksille ja liikenteen erittelylle, jota vaaditaan, kun IP-verkossa kuljetetaan sekä ääntä, liikkuvaa kuvaa ja dataa,
- mahdollisuus luokitella palvelutasoja ja tarjota nk. premium-palveluita eri asiakassegmenteille ja
- mahdollisuus sallia sovellustietoista verkon ylläpitoa, jossa verkko palvelee paketteja perustuen niiden otsikkotason tietoon.

(Vegesna, 2001)

Tietoliikennetekniikan laadulliset arviointityökalut: kokemuksen ja palvelun laatu ovat siis osa samaa kokonaisuutta. Kirjallisuudessa oli myös päällekkäisiä määrittelyjä ja osassa kirjallisuudessa saatettiin puhua QoS-mittareista, samalla kuin toisessa artikkeleissa samoista mittareista puhuttiin QoE:n saralla. Olisi ehkä pyrittävä yhdistettävä QoE osaksi QoS:n käsitettä tai päinvastoin ja luotava yksikäsitteinen laadun standardi, jossa nämä kaksi osa-aluetta olisivat.

Palvelun laatua (QoS) voidaan ajatella tekniseksi tavaksi varmistaa palvelun ja siihen liittyvien yhteyksien laatu käyttäjän tarpeiden tyydyttämisen varmistamiseksi. Kokemuksen laatua (QoE) voidaan ajatella psykologiseksi mittariksi siitä, minkälainen palvelun laadun taso vaaditaan, että palvelun käyttö koetaan hyväksyttäväksi. QoS:n mittaristo nojaa objektiiviseen ja kvantitatiiviseen dataan, jota voidaan kerätä järjestelmästä ilman käyttäjää. QoE:n mittaristo nojaa taas subjektiiviseen ja kvalitatiiviseen dataan, jota saadaan käyttäjältä. QoE:n mittaristossa on osittaisia päällekkäisyyksiä

QoS:n mittaustapojen ja mittaristojen kanssa, mutta konteksti on käyttäjä-lähtöinen ja data kerätään käyttäjältä tai mallinnetaan oletetusti käyttäjän toimien mukaan. Myös kirjallisuudesta saatujen viitteiden mukaan on erityisen tärkeää pyrkiä kvantifioimaan kvalitatiivistakin käyttäjäkokemuksesta saatavaa tietoa.

Yleisin keino tähän on pyrkiä luomaan erilaisia asteikkoja kvalitatiivisten kokemusten mittaamiseen. Tämän diplomityön tutkimuskysymyksien kannalta olennaista on valita mitkä mittarit ja tekijät ovat olennaisia käyttö-kontekstimme, liikkeessä videon katselun käyttäjäkokemuksen laadun, tapauksessa.

3. Luku:

Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen malli

Kolmannessa luvussa esitellään videon katselun liikkeellä ollessa tarkasteluun soveltuva malli. Luvussa esitellään myös mallin reunaehdot, joita tarvitaan arviointimallin mallintaman käyttäjäkokemuksen arvosanarajoille. Aiemmassa luvussa tarkasteltiin teoriaa käyttäjän kokemuksen takana videon katselun näkökulmasta ja tässä luvussa luodaan malli ja tarkastellaan sitä.

3.1. Mallin reunaehdot

Kirjallisuuskatsauksen perusteella tiedämme, että bittinopeus, bittinopeuden vaihtelu, yhteyden jatkuvuus, viive ja viiveen vaihtelu vaikuttavat suoratoistettavien videolähetysten palvelun ja sitä kautta myös käyttäjäkokemuksen laatuun. Mitä tulee yhteyden jatkuvuudelle ja läpisyöttökyvyille, sitä voidaan suoratoiston osalta tarkastella esimerkiksi uudelleenpuskurointien kautta.

3G-verkon kautta ladattaessa bittinopeudet liikkuvat 384 kbit/s ylöspäin aina HSPA+:n 42 Mbit/s ja teoriassa HSPA+:n avulla on mahdollista saavuttaa jopa 168 Mbit/s (Johansson, et al., 2009). LTE-verkon kautta on mahdollista saavuttaa 10-100 Mbit/s bittinopeuksia (SNS Telecom, 2011) ja lähitulevaisuudessa yli 1 Gbit/s latausnopeuksia (Wannstrom, 2013), jolloin se virallisesti täyttää ITU:n vaatimuksen aidosta neljännen sukupolven matkapuhelinverkosta (ITU, 2008d). Tulevaisuudessa julkaistaan myös viidennen sukupolven matkapuhelinverkoja, joita tutkitaan tällä hetkellä. Yksi viidennen sukupolven matkapuhelinteknologiaan keskittyvä projekti tähtää mm. moninkertaisten käyttäjämäärien hallintaan yhteyksien kärsimättä ja moninkertaisiin yhteysnopeuksiin rikkaan videosisällön saamiseen liikkeellä ollessa, olosuhteista riippumatta (Euroopan komissio, 2013).

Videon toistaminen vie paljon verkkoresursseja ja vaatii yhteydeltä paljon välityskykyä. Verkon kautta toistettavat videot pakataan ja koodataan erilaisin tekniikoin tilan ja kaistan säästämiseksi. Tämän hetken suosituin koodausmenetelmä, eli kodekki, on ylivoimaisesti H.264 (Ozer, 2015). H.264 on

mm. kansainvälisen televiestintäliiton standardoima pakkausmenetelmä. (ITU, 2014) Standardista saamme selville H.264-pakattujen videoiden yhteys- ja verkkovaatimuksia, kuten bittinopeuksia. Videoissa on liikkuvan kuvan lisäksi mukana ääni joka vie 64 kbit/s tai 128 kbit/s, riippuen laadusta. Videopalvelut voivat käyttää laatutasojen kriteereiksi lähetettävän videon bittinopeudelle nk. 80 % 80 %:sta sääntöä, eli huippubittinopeutta ei käytetä, vaan siitä varataan 20 % mm. muuhun kuin itse videon katseluun tarvittaviin tiedonsiirtoihin eli nk. protocol overheadille ja jäljelle jäävästä osuudesta varataan vielä 20 % esimerkiksi puskuroinnille tai bittinopeuden vaihteluiden tasaamiseksi (Patterson, 2012). Toisin sanoen, videon bittinopeuden tulee olla sellainen, joka:

- 1) on alle videokoodauksen maksimin, joka on määritelty H.264 standardissa,
- 2) huomioi äänen vaatiman kaistan laadusta riippuen ja
- 3) on noin 64 % (80 % 80 %:sta) saavutettavasta huippubittinopeudesta.

Taulukko 6: Videokoodauksen bittinopeuden vaatimuksia, mukailten (ITU, 2014) ja (Patterson, 2012)

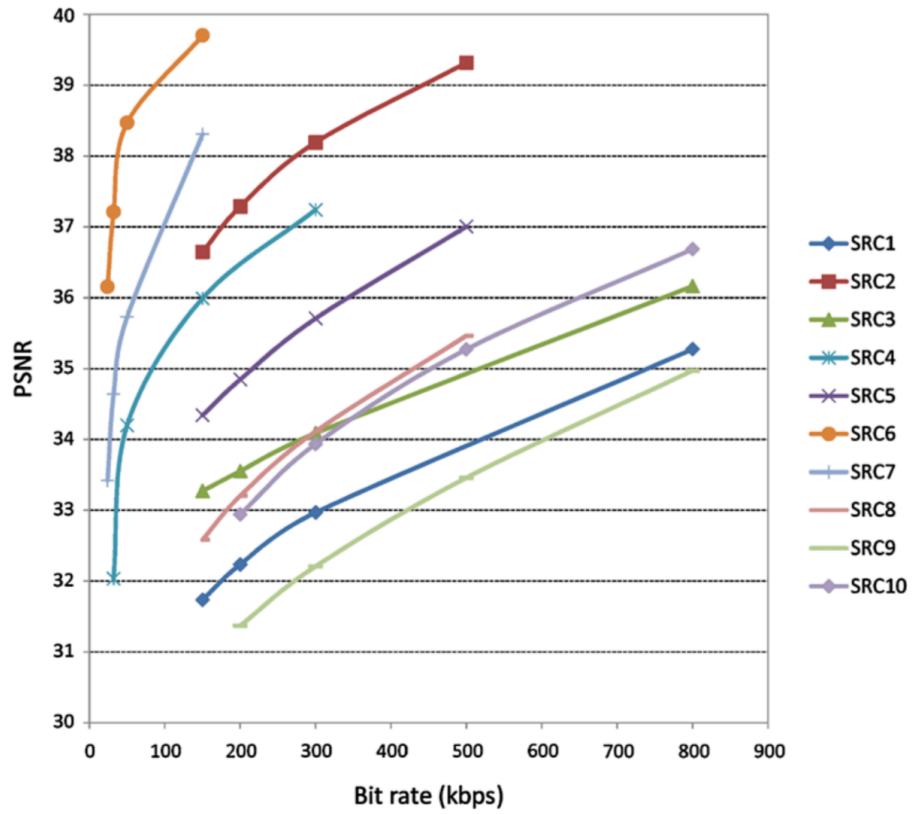
Laatu	Resoluutio	Max (Mbit/s)	Yhteys- nopeus (Mbit/s)	Video (kbit/s)	Audio (kbit/s)	Yhteensä (Mbit/s)
240p	424x240	2	1,0	576	64	0,64
360p	640x360	2,5	1,5	896	64	0,96
480p	848x480	4	2,0	1216	64	1,28
480p HQ	848x480	5	2,5	1536	64	1,60
576p	1024x576	10	3,0	1856	64	1,92
576p HQ	1024x576	12,5	3,5	2176	64	2,24
720p	1280x720	14	4,0	2496	64	2,56
720p HQ	1280x720	17,5	5,0	3072	128	3,20
1080p	1920x1080	20	8,0	4992	128	5,12
1080p HQ	1920x1080	25	12,0	7552	128	7,68

Tällöin saamme taulukossa 6 esitettyjä bittinopeuksia sekä käsityksen siitä millaista laatua voi saada eri yhteysnopeuksilla. Taulukossa maksimilla tarkoitetaan standardin määrittelemää maksimia, yhteysnopeudella oletettua huippubittiarvoa istunnossa ja yhteensä sarakkeessa on esitelty yhteyden kannalta videolle määritelty minimi, joka täyttää aiemmin mainitut ehdot. Tästä voimme laatia tiettyjä johtopäätöksiä videon laadusta ja vaihtelevan bittinopeuden (VBR, Variable Bit Rate) rajoista (Patterson, 2012):

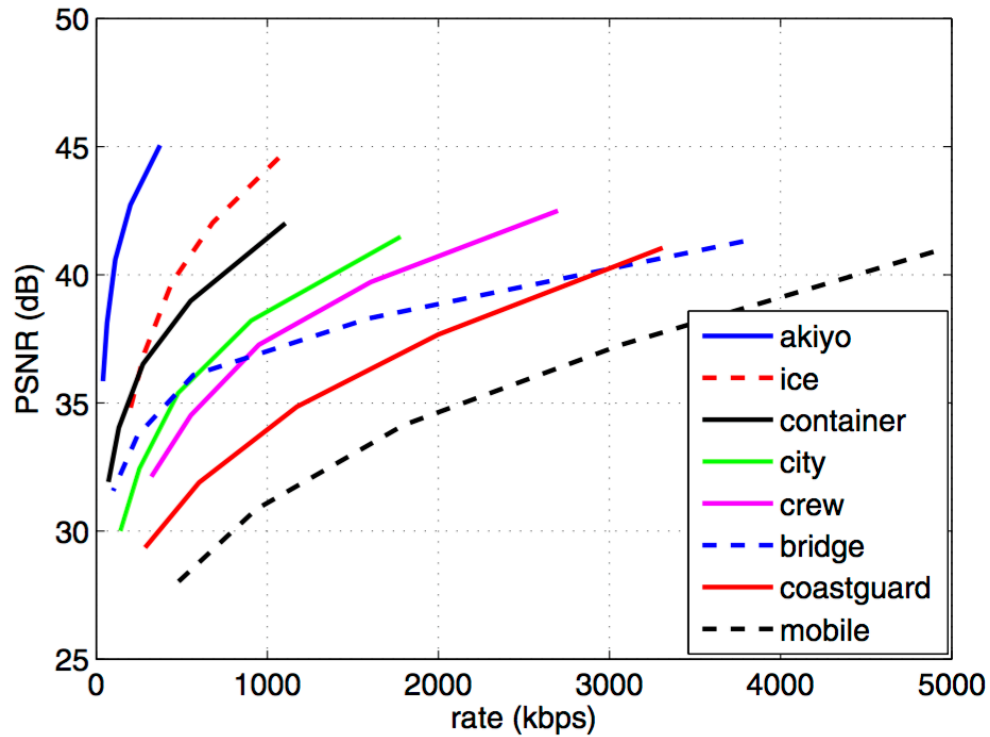
- huonoilla yhteyksillä 240p laatuinen videokuva onnistuu, kunhan yhteys on vähintään 640 kbit/s
- 1,5 Mbit/s yhteyksillä mahdollista saavuttaa melko hyvä 360p laatuinen video
- 2 Mbit/s yhteyksillä mahdollista saavuttaa erittäin hyvä 480p laatuinen video, 2,5 Mbit/s vielä parempilaatuinen
- 3 Mbit/s yhteyksillä mahdollista saavuttaa erittäin hyvä 576p laatuinen video, 3,5 Mbit/s vielä parempilaatuinen
- 4 Mbit/s yhteyksillä mahdollista saavuttaa erittäin hyvä 720p laatuinen video, 5 Mbit/s vielä parempilaatuinen
- 8 Mbit/s yhteyksillä mahdollista saavuttaa erittäin hyvä 1080p laatuinen video, 12 Mbit/s vielä parempilaatuinen.

Kehitteillä on myös seuraavan sukupolven videonpakkausmenetelmiä, joilla pystytään esimerkiksi puolittamaan bittinopeusvaatimukset kuvanlaadusta tinkimättä (Neuvo, 2012).

Bittinopeudella on yhteys myös kuvanlaatuun. Tämä kuitenkin riippuu pitkälti videosisällöstä. Tietyntyyppiset videot saavuttavat paremman laadun (PSNR) alemmilla bittinopeuksilla kuin toiset, joiden kuvanlaadun parantaminen vaatii myös bittinopeuden voimakkaampaa lisäämistä. Kuvassa 6 ja 7 on esitelty eräiden tutkijoiden havaintoja videon laadun ja bittinopeuksien suhteesta.



Kuva 6: Videon laadun ja bittinopeuksien suhde erityyppisissä videoissa matalilla bittinopeuksilla (Huynh-Thu & Ghanbari, 2012)



Kuva 7: Videon laadun ja bittinopeuden suhde erilaisilla videoilla, suurilla bittinopeuksilla (Schroeder, et al., 2013)

Videot ovat CIF-resoluutioisia (352x288@30) ja kaavioista huomataan että bittinopeuksien ja videon laadun suhde on logaritminen (Schroeder, et al., 2013). Yleensä pienikin lisäys bittinopeuksiin riittää merkittävään videon laadun paranemiseen, mutta tämä vaikutus heikkenee, mitä enemmän kasvatetaan bittinopeutta. Kaavioiden perusteella, verrattuna Calyam et al:in (2007) ja Shen et al:in (2012) tutkimuksiin, voidaan asettaa arvosanarajat käyttäjäkokemuksen laadulle viisiportaisella mielipideasteikolla, joskin riippuen videon sisällöstä ne vaihtelevat rajusti.



Kuva 8: Erilaisia testivideotyyppejä, joita käytettiin mm. (Schroeder, et al., 2013) tutkimuksessa (Xiph, ei pvm)

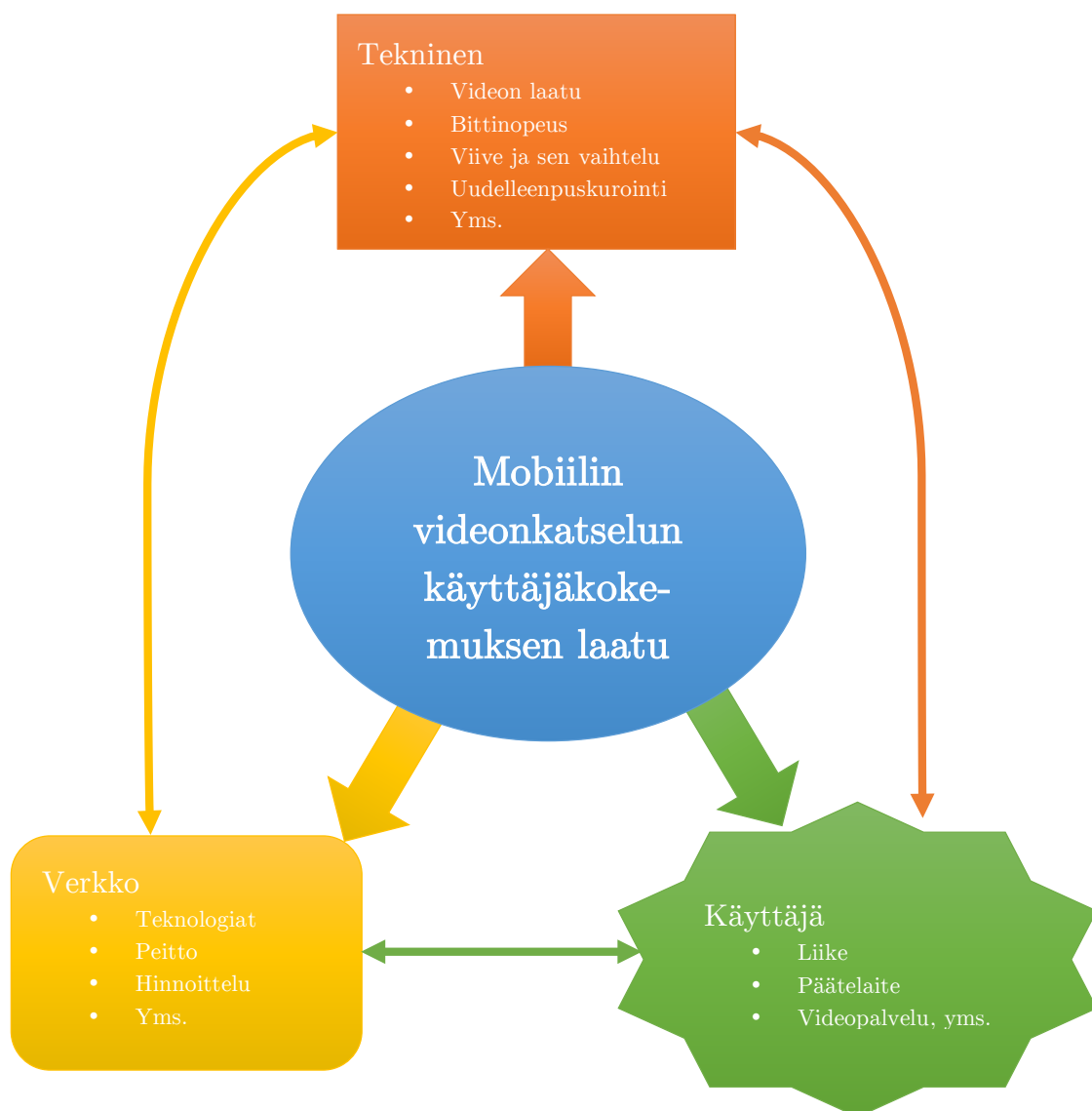
Testivideoissa, jotka ovat esitelty kuvassa 8, on erilaisia bittinopeusvaatimuksia: matalan tason videoissa, kuten akiyo:ssa ja SCR6:ssa, jossa video ei ole kovin vaihteleva vaan melko staattinen ja esittää puhuvaa päätä, pienikin bittinopeuden lisäys johtaa parempaan laatuun, kun taas liikettä esittävässä ja erittäin vaihtelevassa videoissa kuten coastguard:ssa ja SCR9:ssä, tarvitaan huomattava bittinopeuden kasvu ennen kuin videon laatu kasvaa (Huynh-Thu & Ghanbari, 2012).

Yksi huomattava seikka on myös se, että tavallinen liikkumisnopeus ei vaikuta signaalin laatuun huomattavasti. Liikkuminen vaikuttaa kuitenkin handover -tapahtumien, eli tukiaseman vaihtumisen, todennäköisyyteen. Tukiaseman vaihtuminen pienentää bittinopeuksia keskimäärin 1200 kbit/s. (Sonntag, et al., 2013)

Tästä muodostuvat reunaehdot mallillemme mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksen analysoimiseen.

3.2. Mallin esittely ja tarkastelu

Mitä tulee käyttäjän näkökulmaan mobiilissa videon katselussa, on monta tekijää, jotka vaikuttavat siihen, millainen käyttökokemus siitä muodostuu. Kirjallisuuskatsauksen perusteella tutkimukseen on löydetty kolme ulottuvuutta: tekninen, verkon ja käyttäjän. Nämä ovat esitelty kuvassa 9.



Kuva 9: Mobiilin videonkatselun kokemuksen laatu

Mallissa esitellään kunkin ulottuvuuden alla näkökulmia, mittareita ja käsitteitä, jotka voivat olla luonteeltaan niin kvalitatiivisia kuin kvantitatiivisiaakin. Mallin teknisessä ulottuvuudessa syvennyttään verkon kautta tapahtuvan videon toiston teknisiin vaatimuksiin, kuten videon kuvan ja äänen laatuun, bittinopeuksiin, viiveisiin, näiden kahden aiemman vaihteluihin, sekä esimerkiksi uudelleenpuskurointiin. Näitä on tunnistettu aiemmin tässä luvussa, sekä kirjallisuusosiossa luvussa 2. Mallin käyttäjäkeskeisessä ulottuvuudessa tarkastellaan palveluiden käyttäjien psykologisiin ja fyysisiin ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi, onko käyttäjä liikkeellä, millaista päätelaitetta hän käyttää, millaista palvelua hän käyttää videoiden toistoon sekä miten hän suhtautuu mobiiliin videon katseluun tai ylipäättään esimerkiksi liikkuvaan kuvaan. Mallin verkko-ulottuvuudella tarkoitetaan lähinnä operaattorin näkökulmaa, eli minkälaisia verkkoteknologioita on käytössä, kuinka kattava on mobiiliverkkojen peitto, kuinka verkkopalvelut ovat hinnoiteltu jne.

Käyttäjän kokemuksen laadun osalta, mallin kaikilla osilla on merkittävyyssarvoa ja kokemuksen kannalta ne kaikki liittyvät toisiinsa. Siksi : Mobiilin videonkatselun kokemuksen laatu näkyvää kuvaa mobiilin videon katselun kokemuksen laadusta voidaan pitää myös konseptuaalisena ja viitekehukseen verrattavissa olevana mallina. Lisäksi on hyvä havaita mallissa esitettyjen ulottuvuuksien riippuvuuksia toisistaan. Esimerkkinä operaattoreiden hinnoittelupolitiikat vaikuttavat niin käyttäjään kuin operaattoriinkin. Käyttäjä voi tehdä erilaisia arvovalintoja riippuen, siitä esimerkiksi joustuuko hän maksamaan verkkoyhteydestään käytön perusteella vai kiinteästi kuukausittain ja tarvitseeko hänen maksaa esimerkiksi käyttämästään videopalvelusta ylimääräistä, ja onko esimerkiksi hänen käyttämässään videopalvelussa erilaisia hinnoittelumalleja perustuen esimerkiksi videon laatuun. Näin kaikki mallin ulottuvuudet tulevat tällaisissa kysymyksissä käsiteltyä.

Tämän tutkimuksen puitteissa ja mallin testattavuuden osalta keskitytään teknisen ulottuvuuden tiettyihin osa-alueisiin, joista on helppo saada testattavaa dataa esimerkiksi nettitutkan kaltaisen palvelun kautta. Näitä ovat:

- 1) Bittinopeus, (kbit/s)
- 2) Bittinopeuden vaihtelu sovitun bittinopeuden suhteen, (%)

- 3) Viive, (ms)
- 4) Viiveen vaihtelu eli keskihajonta, (%)
- 5) Signaalin voimakkuus, (%).

Bittinopeudella on suora yhteys videon laatuun, se määrittelee, minkä ta-soista videota voidaan toistaa. Bittinopeuden vaihtelu vaikuttaa uudelleen-puskurointitarpeeseen ja on siksi myös tärkeä osatekijä. Viive vaikuttaa myös osaltaan uudelleenpuskuroinnin tarpeisiin, sekä mm. aloituspuskurointiin. Viiveen vaihtelulla on osoitettu myös olevan suurissa määrin haittavai-kutus kokemuksen laatuun. Mikäli bittinopeuden ja viiveen tahti muuttuu radikaalisti, eikä video ole esimerkiksi VBR-muotoista, vaan oletuksena va-kiolaatuista ja vakio bittinopeuden vaativaa, saattaa tulla tarve uudelleen-puskuroinneille, jotka vuorostaan saattavat vaikuttaa palvelun hyväksyttävyyden ja siten jatkuvuuden keskeytysten kautta käyttäjän kokemuksen laa-tuun.

Näiden vaikutusta käyttäjäkokemukseen on tarkoitus arvioida viisiportaisen asteikon kautta. Näiden osatekijöiden keskiarvo antaa kokonaisarvion käyt-täjän kokemuksen laadusta, jolla voidaan analysoida erilaisia käyttöskenaarioita ja niiden mielekkyyttä käyttäjän näkökulmasta. Viisiportaisen asteik-koon osuvat rajat eri osa-alueiden osalta on esitelty taulukossa 7.

Käyttäjäkokemukseen vaikuttavat myös monet muut tekijät. Näitä ovat mm. käyttäjän päätelaite, päätelaitteen yhteysmahdollisuudet (GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE, LTE-A, WLAN, jne.), käyttäjän käyttämät verkkopalvelut, näiden verkkopalveluiden videon lähettämiseen liittyvät tekniset ratkaisut, viive, viiveen vaihtelu, videosisältö, käyttäjän asema, ti-lanne ja liike, verkon signaalin voimakkuus, verkon peitto, tukiasemien si-jainti, satunnaiset häiriöt, ympäristö, jne. Kuitenkin tarkoitus on pitää malli matemaattisesti yksinkertaisena, jolloin on tärkeää valita vain ne olennaiset tekijät ja testata mallia niiden kautta. Muiden tekijöiden vaikutusta ja nii-den arviointia tarkastellaan myöhemmin.

Taulukko 7: Mobiilin videonkatselun kokemuksen laadun arvosanarajat 720p-laatuselle suoratoistettavalle vakiobittinopeuksiselle videolle

Arvosana kokemuksen laadulle (α , β , γ , δ , φ)	Bittinopeus (720p), kbit/s	Bittinopeu- den vaihtelu, %	Viive, ms	Viiveen vaihtelu, %	Signaalin- voimak- kuus, %
1	2500	25	500	25	1
2	3000	20	387,5	20	10
3	3500	15	275	15	20
4	4000	10	162,5	10	50
5	6000	5	50	5	75

Arvosanat kokemuksen laadulle ovat seuraavat: 5: erittäin hyvä, 4: varsin hyvä, 3: hyvä, 2: välttävä ja 1: huono ja alle 1: käyttökelvoton. Arvio kokonaisarvosanasta mielipideasteikon keskiarvolle (MVQoEMOS, Mobile Video Quality of Experience Mean Opinion Score) on esitelty alla olevassa kaavassa 3:

$$MVQoEMOS = \frac{1}{3}a + \frac{1}{6}\beta + \frac{1}{6}\gamma + \frac{1}{6}\delta + \frac{1}{6}\varphi, \quad (3)$$

missä mielipideasteikon painotettu keskiarvo lasketaan kunkin tarkastellun osa-alueen arvioidun mielipidearvosanalle: a bittinopeudelle, β vaihtelulle, γ viiveelle, δ viiveen vaihtelulle ja φ signaalin voimakkuudelle, niin että suurin paino osuu puhtaalle bittinopeudelle, sillä se tutkimusten mukaan selkeinten vaikuttaa mobiilin videon laatuun ja siten katselukokemukseen. Tästä yksinkertaisempi versio kaavasta (SMVQoEMOS, Simplified Mobile Video Quality of Experience Mean Opinion Score), jossa ei oteta huomioon mitausarvojen vaihteluita, on seuraavanlainen:

$$SMVQoEMOS = \frac{2}{3}a + \frac{1}{3}\gamma \quad (4)$$

Tämä perustuu puhtaasti nettitutka -sovelluksesta saataviin mittausarvoihin. Lisäksi esimerkiksi nettitutka -sovelluksessa signaalin voimakkuutta mitataan lähes ainoastaan melkein stationäärisistä olosuhteista (Sonntag, et al., 2013). Lopuksi, kunkin mittauskohdan SMVQoEMOS-luvuista muodostetaan keskiarvo, jolla saamme yhteyden käyttäjän kokemuksen laadun yleisarvion:

$$QoEMOS_{tot} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SMVQoEMOS_i \quad (5)$$

Tätä käytämme testissämme seuraavassa luvussa. Huomioitavaa kuitenkin on, että vastaavan tapaisia matemaattisia malleja on mahdollista luoda myös mallin muille osa-alueille ja niille osa-alueille mille niiden tekeminen on haastavaa, voidaan luoda kvalitatiiviseen analyysiin perustuvia osamalleja.

4. Luku:

Tutkimusmetodit

Tässä luvussa kerrotaan aiemmassa luvussa esitellyn mallin testaukseen liittyvät tutkimusmetodit. Nettitutka sovellus, jota käytetään tutkimuksessa apuna, esitellään tarkemmin tässä luvussa. Mallin toimivuutta tullaan testaamaan yksinkertaisen tapaustutkimuksen ja skenaarioanalyysin keinoin. Mallin avulla tutkitaan kolmen erilaisen käyttöskenaarion perusteella, kuinka malli toimii ja kuinka se ennustaa muodostuvaa käyttökokemusta ja sen laatua.

Luvussa esitellään skenaariot ja vertaillaan niitä, tutkitaan, millainen mobiilipäätelaitteella videota katselevan käyttäjän käyttökokemus on mallin perusteella sekä pohditaan mahdollisia ideaalitapauksia sekä eri skenaarioiden ongelmakohtia. Näin pystytään melko yksinkertaisella tavalla arvioida mallin toimivuus pienillä resursseilla ja ilman varsinaista kokeellista testausta.

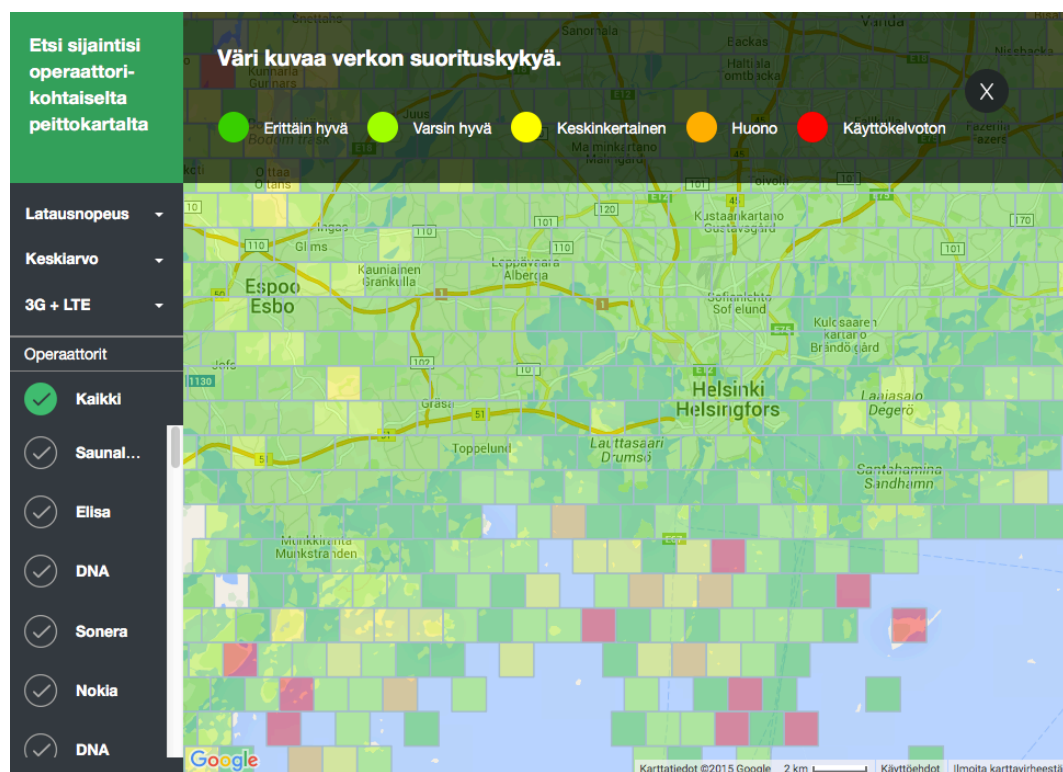
4.1. Nettitutka

Nettitutka on palvelu, jonka avulla voidaan tutkia verkkoyhteyksien ominaisuuksia. Se nojaa käyttäjiltä kerättyyn yhteyden laatua kuvaavaan dataan, kuten esimerkiksi paikkatietoihin, lähetys- ja vastaanottonopeuteen, kahdensuuntaiseen viiveeseen, laitteen merkkiin ja valmistajaan, signaalivoimakkuuteen ja laitteen asennon tietoon kiihtyvyssensoreista (Netradar, 2012). Tutkimuksessa käytetään nettitutkaa apuna erilaisten verkko- ja yhteyssolosuhteiden analysoimiseen.

Nettitutkan kautta voidaan saada käyttäjiltä paljon erilaista yhteyden laatua koskevaa tietoa. Käyttäjän paikantamiseen nettitutka käyttää niin satelliittiperustaista paikannusta, jos laite tukee sitä, kuin myös muita mahdollisia paikannuskeinoja, kuten tukiasema-, WLAN- ja IP-pohjaista paikannusta. Keskimäärin käyttäjän sijainti saadaan paikannettua 1179 metrin tarkkuudella. Myös koko käyttäjän reitti ja käyttäjän liikkumisen nopeus pystytään tallentamaan nettitutkaan. Nettitutka tallentaa myös tukiasematietoja ja signaalin laatua koskevia tietoja, kuten signaalin voimakkuutta ja käytettyä radioteknologiaa. Radioteknologiat, jotka nettitutka tunnistaa

ovat: GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, HSPA+ ja LTE. Nettitutka mittaa Suomessa sijaitsevien mittauspalvelimien avulla käyttäjien latausnopeuksia niin käyttäjän kuin palvelimenkin suuntaan. Palvelussa mittauksia voi tehdä aktiivisesti käyttäjän hallinnoimana tai automaattisesti taustalla niin, että käyttäjä voi päättää esimerkiksi mittauksen aikavälin. (Sonntag, et al., 2013)

Nettitutkan selainpohjainen käyttöliittymä löytyy verkkosivuilta: www.netradar.org, jossa heti etusivulla avautuu nettitutkan keräämän datan tarkastelutyökalu, joka on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10: Nettitutkan verkon suorituskyvyn tarkastelun työkalu (Netradar, 2012).

Tässä käyttöliittymässä tietoja voi tarkistaa kartalla eri paikoissa. Määritteleviksi tekijöiksi näkymälle voi valita latausnopeuden (kbit/s), verkon viiveen (ms), lähetysnopeuden (kbit/s), signaalivoimakkuuden (%) eri operaattoreiden osalta. Palvelun käyttäjä voi myös valita käytetäänkö keskiarvoa vai parasta mittausarvoa. Näiden lisäksi voidaan tarkastella myös LTE- ja

3G-verkkojen verkon suorituskyky yhdessä tai erikseen. Kartta on jaettu pieniin ruudukkoihin, jotka skaalautuvat asteittain kartan mittakaavan mukaan siten, että pienimmillään ne ovat noin 200 m kertaa 200 m kooltaan ja suurimmillaan useita kilometrejä kanteiltaan. Ruudut ovat värikoodattu saadun datan perusteella: verkon suorituskyky on jaettu viiteen asteikkoon: erittäin hyvä, varsin hyvä, keskinkertainen, huono ja käyttökelvoton. Kartta on liikuteltavissa ja tarkennettavissa vapaasti. Tämän tutkimuksen tarkasteluun valitaan aina tietyn operaattorin latausnopeuden, eli bittinopeuden sekä viiveen keskiarvoluvut huippuarvojen sijaan, sillä ne kertovat yleisemmästä palvelun laadusta. Operaattoriksi valittiin Elisa ja Saunalahti, joihin mittaustulosten suuremmasta määrästä valituissa skenaarioissa.

4.2. Skenaarioanalyysi

Skenaarioanalyysi muistuttaa luonteeltaan hyvin paljon tapaustutkimuksia. Siinä missä tapaustutkimuksien painopiste on menneen tutkimisessa ja analysoimisessa skenaarioanalyysissä pyritään arvioimaan ja ennustamaan tulevaa. Puhtaasta ennustamisesta ei myöskään ole kyse. Toisin kuin puhtaassa ennustamisessa tai ennusteiden tekemisessä, skenaarioanalyysissä ei hyödynnetä menneestä saatavaa dataa ekstrapoloinnin avulla. Näin ollen skenaarioanalyysi ei tuota itsessään tarkkoja ennusteita tulevaisuudesta menneeseen perustuen vaan pikemminkin mahdollisia tulevaisuuteen ulottuvia polkuja. Tutkimusten mukaan noin kolme skenaariota on riittävä määrä tulevaisuuden analysoimiseen; enemmän kuin kolme tekee analyysistä haastavaa ja alle kolme yksinkertaistaa tilannetta liikaa eikä anna vaihtoehtoja. Skenaarioanalyysi antaa myös mahdollisuuden tutkia sellaisia tapahtumia ja mahdollisuuksia, jotka saattavat olla erittäin epätodennäköisiä, mutta tapahtuessaan erittäin merkittäviä. Skenaarioanalyysin tärkein tekijä on esimerkiksi talous- ja johtamistieteissä olla päätöksenteon apuväline, jolla pystytään varautumaan esimerkiksi yllätyksiin. Skenaarioanalyysi ei tosin yksinään ole riittävän tehokas analysointikeino, vaan aina vaatisi rinnalleen jonkinlaisen empiirisen kokeen selvittääkseen sen todistusrarvon osuvuuden. (Aaker, 2001)

Tässä tapauksessa kuitenkin tämän tutkimuksen osalta se toimii apuvälineenä esimerkiksi operaattoreille tai muille palveluntarjoajille tarkastella omien palveluidensa ja tarjontansa toimivuutta erilaisissa, haastavissa käyt-

tötilanteissa. Myöhempää skenaariotarkastelua varten käytetään näitä nettitutkan käyttöliittymän kautta saatavia tietoja. Huomattava seikka on myös, että jos ruutu puuttuu, se ei välttämättä tarkoita mitään muuta kuin sitä, että siltä alueelta ei ole mittaustuloksia. Eli yksikään palvelun käyttäjä ei ole mittauttanut verkon suorituskykyä alueella.

4.3. Skenaariot

Skenaariot analyysiä varten valittiin siten, että ne kuvastaisivat mahdollisimman kattavan kokonaisuuden mobiilin videon katselun mahdollisuuksista ja tilanteista. Skenaariot ovat hyvin erityyppisiä ja kuvaavat niin käyttökontekstin ääripäitä kuin myös ns. keskitien vaihtoehtoa. Koska skenaarioita on vain kolme, se ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ne kuvaisivat täydellisesti koko käyttökontekstien kirjoa ja kaikkia mahdollisia mobiileilla päätelaitteilla tapahtuvia liikkeessä olevia videon katselutapoja. Näin saadaan tarpeeksi kattava kokonaiskuva siitä, mistä mobiilin videon käyttäjäkokemuksen laatu muodostuu ja millaisissa arvioituja kokemuksia käyttäjille muodostuu erilaisissa tilanteissa.

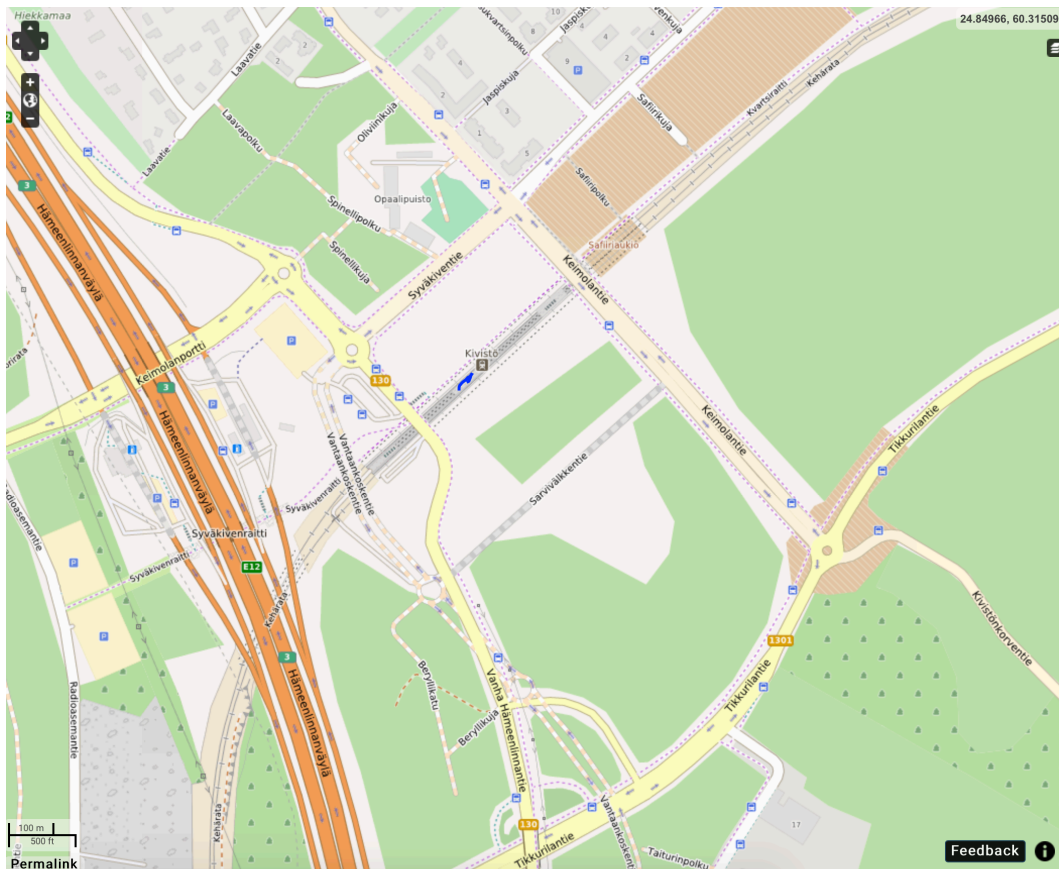
Skenaarioita on kolme:

- 1) pysäkillä odottelu (yksinkertainen)
- 2) maantieajo (tavallinen)
- 3) purjeveneily rannikolla (haastava).

Nämä skenaariot esitellään seuraavissa alaluvuissa. Yhteistä skenaarioille on se, että katseltava videopätkä on tasalaatuista 720p-tasoista videota ja esittää videolaadullisesti sen tasoista videota, jossa bittinopeuden nosto parantaa havaittua videokuvan laatua merkittävästi.

4.3.1. Skenaario 1: Pysäkillä odottelu

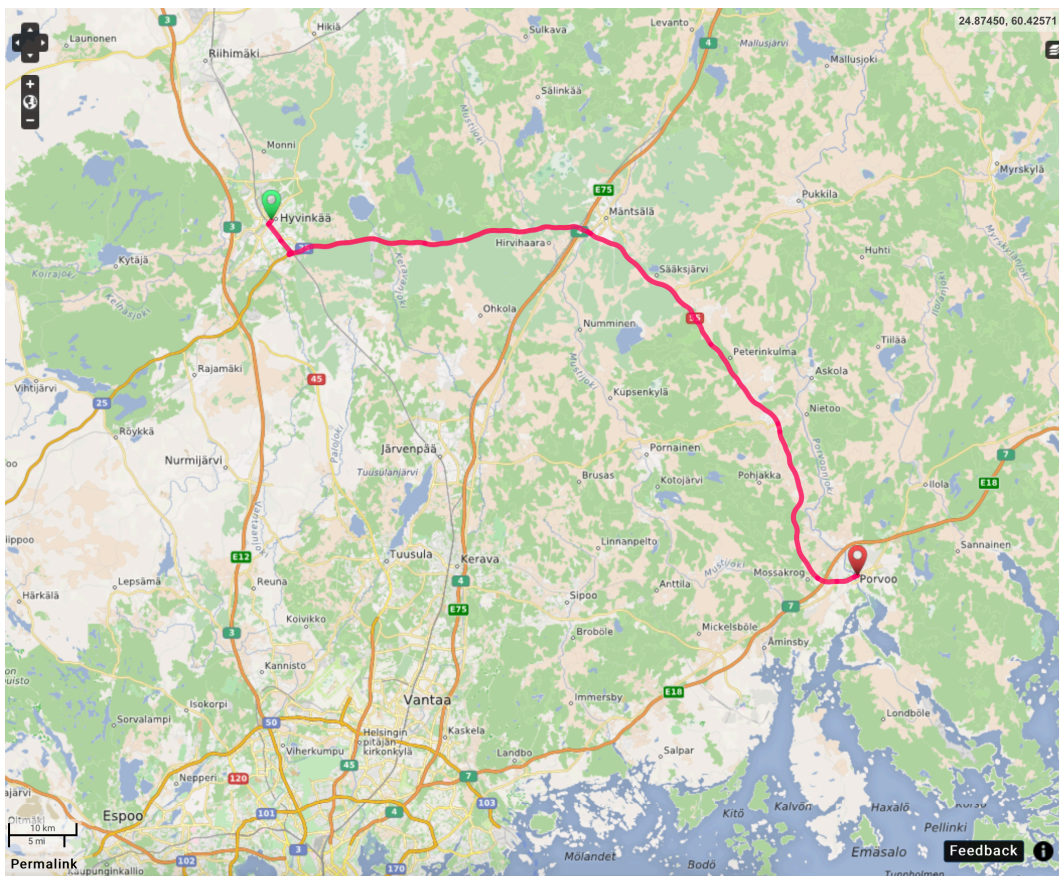
Ensimmäinen, nk. nollaskenaario, on tapaus, jossa käyttäjä odottaa esimerkiksi julkisen kulkuvälineen pysäkillä tai asemalla kulkuvälineen saapumista. Aikaa on käytössä n. 10 minuuttia ja aika menisi muuten joutenoloon, mutta käyttäjä päättää tappaa aikaa katsomalla verkkopalvelusta verkkosarjaa omalla keskitason älypuhelimellaan. Älypuhelin mahdollistaa mallin tekni-
sessä osa-alueessa esitetyn 720p -tasaisen videon toiston ja käyttäjän mat-
kapuhelinliittymä edustaa keskitasoa ja mahdollistaa latausnopeudeksi kor-
keintaan 21 Mbit/s. Paikaksi on valittu Kivistön juna-asema, joka on osit-
tain maan alla oleva tunneliasema uudella kehäradalla ja se on esitelty ku-
vassa 11.



Kuva 11: Ensimmäisen skenaarion sijainti kartalla (OGC, 2015)

4.3.2. Skenaario 2: Maantieajo

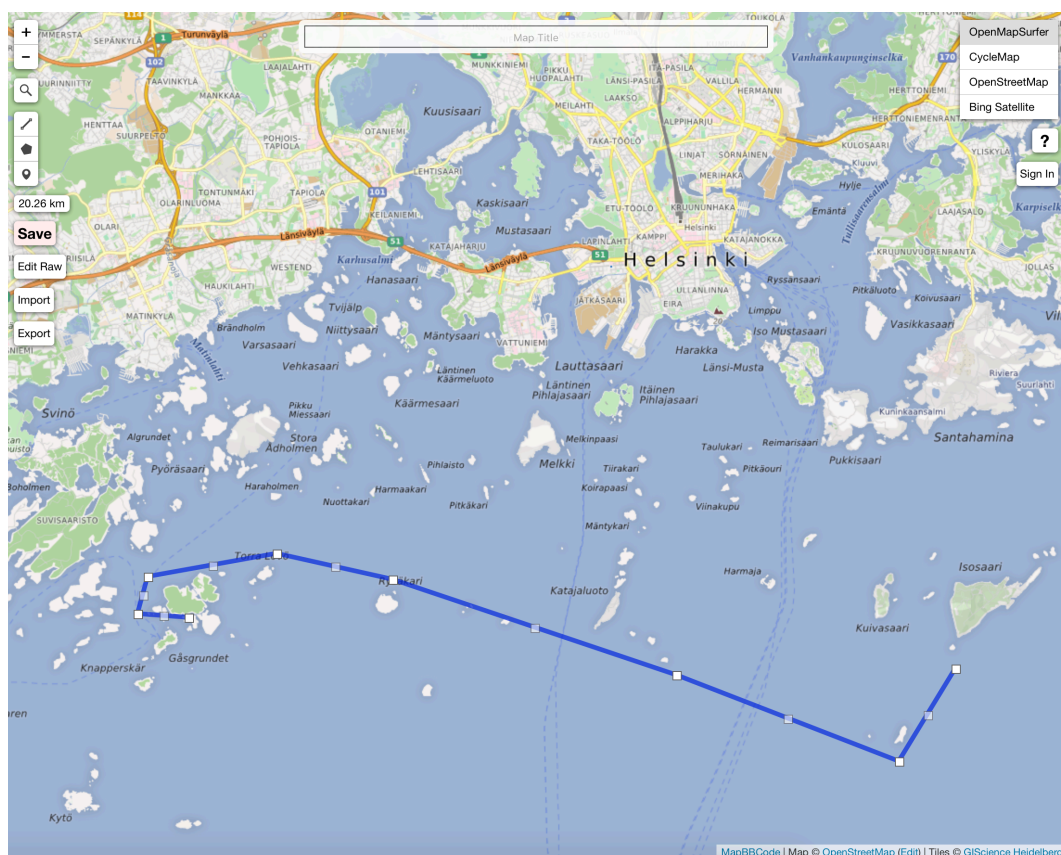
Seuraavassa skenaariossa on hyvin yleinen käyttötilanne, ollaan matkalla maantiellä autossa ja tasaisessa liikkeessä. Matka on melko suoraviivainen ja tasainen ja auton matkustajalla on tuntikaupalla aikaa käytettävänä. Käyttäjä päättää katsoa suoratoiston avulla verkkopalvelun kautta elokuvaa matkansa aikana. Katsominen tapahtuu tabletilaitteella, johon on liitetty sopiva dataliittymä, joka mahdollistaa 300 Mbit/s latausnopeuksia maksimissaan. Matkan reitti on noin tunnin ja 60 kilometrin ajomatka Hyvinkäältä Porvooseen valtatie 25 pitkin ja se on esitelty kuvassa 12.



Kuva 12: Toisen skenaarion matka maantietä pitkin Hyvinkäältä Porvooseen (OGC, 2015)

4.3.3. Skenaario 3: Veneily rannikolla

Veneily rannikolla edustaa ns. haastavaa skenaariota. Tässä tilanteessa kuljetaan veneellä rannikkoseudulla, jossa matkapuhelinverkon kattavuus ei välttämättä ole optimaalinen. Kyseisessä tapauksessa matka ja nopeus ovat melko suoraviivaisia, mutta peitto vaihtelee. Käyttäjällä oletetaan olevan samanlaiset määritellyt päätelaitteet ja liittymät kuin edellisessäkin skenaariossa. Reitiksi on valittu lyhyt n. 20 km kilometrin saaristopurjehdus Helsingin rannikon edustalla ja se on esitelty kuvassa 13.



Kuva 13: Kolmannen skenaarion veneilyreitti Helsingin ulkosaaristossa
(Geoinformatics Research Group, 2015)

4.4. Skenaariovertailu

Skenaarioita on hyvä vertailla aiemman yksinkertaisen esittelyn lisäksi. Alla olevasta taulukossa 8 on esitelty skenaariot ominaisuuksine rinnakkain helppoa tarkastelua varten. Skenaariovertailussa on esitelty mm. matka, nopeus, päätelaitteen tiedot ja kyvyt, palvelusopimuksen, eli liittymän tiedot, sekä liittymään liittyvän verkon tiedot. Nämä tiedot ovat sellaisia, jotka tämän tutkimuksen puitteissa on helppo kerätä analyysiä varten.

Taulukko 8: Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen skenaariot vertailussa

Skenaario/ ominaisuudet	1: Pysäkillä odot- telu	2: Maantieajo	3: Veneily rannikolla
Matka	0 – 10 m	63 km	20 km
Nopeus	0 – 5 km/h	0 – 100 km/h	10 – 15 km/h
Matkan reitti	ks. Kuva 11	ks. Kuva 12	ks. Kuva 13
Päätelaite	Älypuhelin, keski- hintainen	Tabletti	Tabletti
Päätelaitteen tu- kema verkkotek- nologia	LTE	LTE	LTE
Liittymän verkko- teknologia	LTE	LTE	LTE
Liittymän mak- simi latausnopeus	21 Mbit/s	300 Mbit/s	300 Mbit/s
Nettitutkassa mit- tausruutujen määrä	1 kpl	24 kpl	22 kpl
Mittausruudun koko	n. 100 m	n. 2,65 km	n. 0,91 km

Kuten huomataan, ensimmäisessä skenaariossa ei lähestulkoon merkittävää liikettä ole ja mikäli käyttäjän sijainti ei satu olemaan kahden tukiaseman

ristipeittoalueella, on hyvin todennäköistä, että käyttäjä tässä tilanteessa on vain yhden tukiaseman peiton alla. Liikettä voi olla, mutta se on erittäin paikallista ja erittäin pienimuotoista, kuten pieni edestakainen käyskentely. Oletettavaa on, että tässä skenaariossa näistä tekijöistä johtuen mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemus on erittäin hyvä.

Toisessa skenaariossa käyttäjä on lähes jatkuvassa liikkeessä keskipitkällä matkalla, joissa keskinopeus liikkuu todennäköisesti n. 60 km/h paikkeilla ja lyhyiden pysähtymisien lisäksi saattaa joksikin ajoiksi nousta jopa 100 km/h:ssa. Kuten aiemmin mainittiinkin, itse liike ei edistyneillä neljännen sukupolven matkapuhelinteknologioilla ole juurikaan bittinopeuteen vaikuttava tekijä, mutta tukiasemavaihdot, joita tässä skenaariossa tapahtuu paljon saattaa alentaa bittinopeuksia merkittävästi sekä jopa katkaista yhteyden hetkeksi kokonaan. Tämä skenaario kuvaa sellaista käyttötapaa, missä on melko vähän ulkopuolisia häiriöitä käyttäjälle. Tässä skenaariossa mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemus on todennäköisesti hyvä tai varsin hyvä.

Kolmannessa skenaariossa matkanteko on tasaisempaa, joskin hitaampaa. Lisäksi tässä skenaariossa, johtuen käyttäjän sijainnista on riski pudota verkon peiton ulkopuolelle. Muita haasteita kolmannessa skenaariossa ovat mm. sääolosuhteet, jotka voivat tehdä päätelaitteen käyttämisestä haastavaa, joka voi johtaa myös käyttötapahetken keskeytymisiin. Esimerkiksi voimakas aallokko voi tehdä minkään laitteen käyttämisestä haastavaa ja jopa mahdotonta. Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemus oletetaan tässä skenaariossa välttäväksi, huonoksi tai jopa joissain kohdissa käyttökelvottomaksi.

5. Luku:

Tulokset ja analyysi

Viidennessä luvussa tarkastellaan, millaisia tuloksia saamme mallin testauksesta skenaarioanalyysissä. Mobiilin videon katselun käyttäjäkokemus ja sen laatu esitellään skenaarioanalyysin perusteella sekä analysoidaan tuloksia skenaarioittain.

5.1. Käyttäjäkokemus ja sen laatu

Skenaarioissa tarkasteltiin mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksen mallin teknisen osa-alueen yksinkertaistettua mallia (SMVQoEMOS), jolla saadaan yksinkertaisia arvioita mielipideasteikon keskiarvosta mobiilille videon katselun kokemuksen laadulle kullakin eri alueella. Syöttötietoina käytetään nettitutka-sovellukseen käyttäjien keräämää tietoa latausnopeuksista (bittinopeus) ja viiveestä. Skenaarioiden tuloksia esitellään seuraavissa alaluvuissa ja käyttäjäkokemusta sekä sen laatua analysoidaan skenaariokohtaisesti.

Ensimmäisessä skenaariossa, mittaustuloksia on vain yksi, sillä käyttäjä pysyy koko skenaarion ajan lähestulkoon paikallaan. Muissa skenaarioissa mittaustuloksia on useampia, jolloin saamme visualisoitua arvioita käyttäjän kokemuksen laadusta suhteessa matkan etenemiseen. Lisäksi toisessa ja kolmannessa skenaariossa on laskettu koko matkan aikainen keskiarvo arvioitulle kokemuksen laadun mielipidearvojen keskiarvoille. Tällä tavalla saadaan arvio siitä, millainen skenaario kokonaisuudessaan on kokemuksen laadun osalta.

Mallin bittinopeutta ja viivettä analysoiva osio antaa osviittaa verkon kyvystä tarjota asiakkailleen tietyn tasoista palvelua videon katselun käyttäjän näkökulmasta. Se ei suoraan ota kantaa miltä käyttäjästä kukin tilanne tuntuu vaan pyrkii estimoimaan sitä hyvin objektiivisesta näkökulmasta. Se tässä tapauksessa esittää kuitenkin vain kolikon toisen puolen. Saadakseen kattavamman näkökulman käyttäjäkokemuksen laadusta tarvitaan myös kvalitatiivista dataa suoraan käyttäjiltä ja heidän subjektiivista näkemystä. Tätä pohditaan tarkemmin luvussa 6. Skenaarioiden tulosten analyysissä on pyritty myös huomioimaan mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksen

mallin muiden osa-alueiden, jotka on esitelty 3. luvussa kuvassa 9, vaikutusta.

Tuloksissa on muutamia huomioita. Ensinnäkin, liitteissä esiintyvissä taulukoissa viiveen lukuarvo on taulukkolaskentakaavallisista syistä asetettu negatiiviseksi, eli se edustaa kuitenkin positiivista lukuarvoa. Toiseksi, mittausruutujen koko on pyritty karttaa säätämällä muokkaamaan edellisen luvun taulukossa 8 asetettuja mittausruutujen kokoja. Näin ollen mittauspisteiden määrä vaihtelee skenaarioittain. Esimerkiksi ensimmäiseen skenaarioon ei kuulu kuin yksi otos.

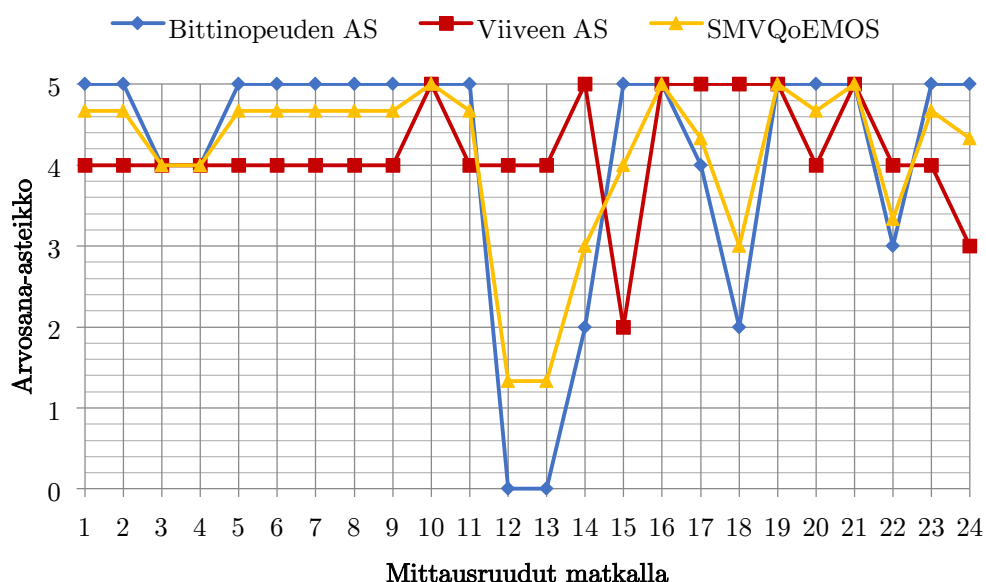
5.2. Ensimmäinen skenaario

Ensimmäisessä skenaariossa, jossa käyttäjä katsoo videota paikallaan seisten tai vähän liikkuen, mallin ennustama arvio kokonaiskäyttäjäkokemukselle muodostuu erittäin hyväksi. Mitattujen bittinopeuksien keskiarvo videon lataukselle oli 31597 kbit/s, joka 720p-tasoisella videolla tarkoittaisi odotetuksi käyttäjäkokemuksen osa-arvosanaksi 5 mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen mallin teknisen osa-alueen alamallin mukaan, joka on esitelty luvussa 3 taulukossa 7. Mitattujen viiveiden keskiarvoksi muodostui 75 ms, joka mallissa antaisi osa-arvosanaksi 4. Laskemalla mallin kaavan (4) mukaan saamme arvion kokonaisarvosanasta mielipideasteikon keskiarvolle 4,67. Nämä arvot ovat esitettyinä liitteen A taulukossa A1.

Tässä skenaariossa on oletettavaa, että mikäli yhteys on olemassa, se on hyvä, jonka johdosta käyttäjän kokemuksen laatu videota katsellessa on myös erittäin hyvä. Suurimpia käyttäjäkokemuksen kokonaisarvosanaa heikentäviä tekijöitä mallin perusteella voisivat olla päätelaite, mahdolliset ulkopuoliset häiriöt ja keskeytykset, sekä myös epämääräiset katvealueet alueella. Etenkin skenaarion sijainti asettaa kysymyksiä mittautulosten varmuudesta. Asema on osittain maan alla, betonikannen alla (Graniittirakennus Kallio, 2015) joka voi osittain vääristää nettitutkasta saatuja tuloksia: ne voivat olla maan pinnalta ja ajalta ennen kuin asema on otettu käyttöön. Myös keskitason älypuhelimella on oma vaikutuksensa käyttäjäkokemuksen laatuun: esimerkiksi pieni ruutu huonontaa videon katselun laatua. Joka tapauksessa tulokset ovat erittäin hyviä ja johtavat todennäköisesti hyvään käyttäjäkokemukseen yhteyden laadun osalta. Muut kuin tekniset seikat vaikuttavat tässä skenaariossa käyttäjäkokemukseen.

5.3. Toinen skenaario

Toisen skenaarion, maantieajelun, tuloksia on esitelty kuvassa 13 ja liitteen A taulukossa A2. Nähdään, että kuvan 14 kaavion perusteella pääkaupunkiseudun ulkopuolisella maantiellä ajettaessa yhteyden laatu pysyy suhteellisen hyvänä, tiettyjä yksittäisiä alueita lukuun ottamatta. Näissä lähinnä bittinopeus laskee huomattavasti arvosanarajojen alapuolelle ja näin vaikuttaa erittäin heikentävästi kokonaiskokemuksen laadun arvioon.



Kuva 14: Maantieajo-skenaarion bittinopeuden, viiveen ja käyttäjäkokemuksen laadun arvosanat

Mallin mukaisen ennusteen perusteella käyttäjäkokemuksen laatu pysyy erittäin hyvänä tai varsin hyvänä suurimman osan matkasta, etenkin matkan alkupuolella. Kun muutamassa kohdassa bittinopeus romahtaa, voidaan olettaa, että videota on ladattu puskuriin, koska bittinopeus on ollut ns. hyvissä kohdissa parempi kuin mitä mallin mukaan videopätkä vaatisi, ja

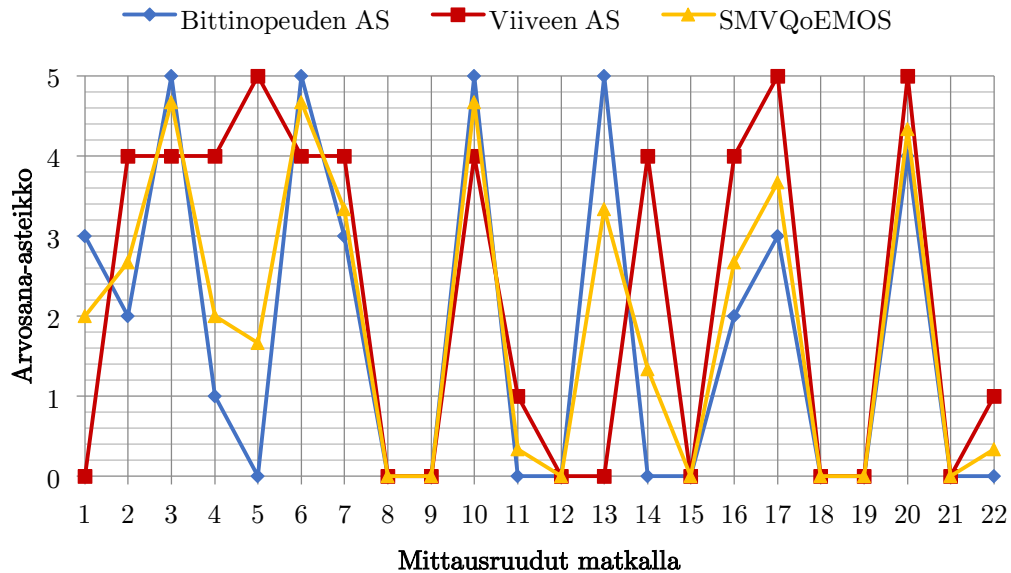
puskuri ei heti loppuisi kesken, jolloin videon katselu keskeytyisi. Koko skenaarion matkan osalta saamme keskiarvoksi arviolle kokonaisarvosanan mielipideasteikon keskiarvolle 4,14. Tämä on siis kaikkien mittausruutujen SMVQoEMOS-lukujen keskiarvo.

Tässäkin skenaariossa on monia ulkopuolisia tekijöitä, jotka vaikuttavat merkittävästi käyttäjäkokemukseen. Oletetaan esimerkiksi, että käyttäjä saa keskittyä tehtäväänsä, videon katseluun, rauhassa ja esimerkiksi muut kanssamatkustajat, tai kuljettaja eivät häiritse häntä. Lisäksi oletuksena oli tablettilaitte päätelaitteena, jolloin esimerkiksi videon laaduksi käyttäjä voi haluta paremman 1080p-tasoisin laadun, jonka vaatimus yhteydelle on kertaluokkaa isompi.

5.4. Kolmas skenaario

Kolmannen skenaarion, veneilyn rannikolla, tuloksia on esitelty kuvassa 15 ja liitteen A taulukossa A3. Oletettavaa oli tässä skenaariossa, että yhteys ei ole tasalaatuinen kuten kahdessa edellisessä skenaariossa. Rannikkoalueet ovat peiton kannalta haastavia, sillä vaikkakin alueina ne ovat melko aavaa ja aukeaa, käyttäjien vähyydestä ja siten hyvien yhteyksien tarpeettomuudesta, sekä maan rajojen päättymisestä johtuen verkkoyhteyden laatu on oletettavasti huonompi kuin muissa skenaarioissa, ja se luo omat haasteensa yhteysvaativiin sovelluksiin, kuten videon katseluun.

Bittinopeuden ja viiveen arvosanoja, sekä niistä mallin mukaan muodostuvaa arviota kokemuksen laadun kokonaisarvosanoista voidaan tarkastella kuvan 15 kaaviosta. Huomataan, että niin bittinopeudet ladatessa kuin viiveetkin vaihtelevat erittäin paljon. On myös tilanteita, joissa mm. viive pysyy hyvällä tasolla yhteyden laatua ajatellen kun bittinopeus on erittäin alhainen ja videon suoratoistoon käyttökelpoton ja päinvastoin myös. Lisäksi, koska nettitutka perustuu käyttäjien tekemiin omiin mittauksiin, joistain ruuduista ei löydy ollenkaan mittaustuloksia. Nämä ruudut ovat reitillä olevat ruudut 8, 9, 15, 19 ja 21. Näissä siis kaavion esityksestä huolimatta ei ole kyseessä 0-arvosana vaan kokonainen mittaustulosten puuttuminen. Tässä kohtaa ei lähdetty estimoimaan ja spekuloidaan mahdollisia yhteysnopeuksien suuruusluokkia tai lukuarvoja vaan annettiin arvosanojen pudota nolnaan.



Kuva 15: Veneily rannikolla -skenaarion bittinopeuden, viiveen ja käyttäjäkokemuksen laadun arvosanat

Minkälaiseksi voi käyttäjän kokemusta videon katselusta tässä skenaariossa kuvata? Se vaihtelee hyvin paljon: jopa niin paljon, että puskurointi tuskin enää auttaa. Useassa otteessa arvio kokonaisarvosanasta käyttökokemukselle putoaa 0:aan, joka mallin mukaan edustaa käyttökeltoutta tilannetta ja siitä voidaan arvioida syntyvän yhteyden ja sitä kautta myös videon katselun keskeytyksiä käyttäjille. Näissä tilanteissa on suuri riski siinä, että käyttäjä lopettaa koko käyttötilanteen ja siirtyy muihin tehtäviin. Kokonaishyväksyttävyys tällöin putoaa yhtä lailla nolleen.

Koko matkan käyttäjäkokemuksen laadun arvion keskiarvo on, riippuen siitä laskettaisiinko mittautulosten puuttuminen yhteyden katkeamisiksi, 1,89 tai jos ne otetaan pois luvusta 2,45. Toinen arvo merkitsee huonoa tai välttävää käyttäjäkokemuksen arviota ja toinen taas välttävän ja hyvän rajamailla olevaa käyttäjäkokemuksen arviota. Lisäksi, koska tässä skenaariossa vaihtelut ovat todennäköisesti myös suuria, indikoi se huononnusta

käyttäjäkokemuksen arvioon, jolloin arvio kokonaiskäyttäjäkokemuksen laadusta jää enintään välttäväksi (arvosana 2).

6. Luku:

Johtopäätökset ja keskustelu

Keskustelu ja johtopäätös –luvussa tarkastellaan työn prosessia ja sen sujuvuutta, syvennyttään tutkimuksessa esiintyneisiin ongelmiin, haasteisiin ja rajoituksiin sekä tarkistetaan, kuinka hyvin onnistuttiin vastaamaan johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Diplomityön tavoitteena oli selvittää, mitkä asiat vaikuttavat mobiiliin, ts. liikkeessä tapahtuvan, videon katselun käyttäjäkokemukseen. Näiden tietojen perusteella selvitettiin, min-käläinen malli voidaan rakentaa ja malli luotiin. Lopuksi testattiin myös yhtä mallin osa-aluetta ja sen ennustusarvoa. Kappaleessa katsotaan myös tulevaisuuden mahdollisuudet, pohditaan käytännön sovelluksia ja asetetaan suunta jatkotutkimukselle.

6.1. Johtopäätökset

Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin kokemukseen, käyttäjäkokemukseen, kokemuksen laatuun ja palvelun laatuun, sekä niistä tehtyyn tutkimukseen tämän työn tutkimuskysymysten toimiessa viitekehyksenä. Keskeisimmät löydöt kirjallisuuskatsauksen perusteella olivat:

- 1) Käyttäjäkokemus nojaa vahvasti subjektiivisiin käyttäjän näkökulmiin ja niitä voi analysoida mm. tunteiden ja kokemuksen sekä ihmisestä riippuvien yleisluontoisten käsitteiden, kuten hedonismin tai estetiikan kautta.
- 2) Kokemuksen laatua (Quality of Experience) tutkiessa pääpaino tutkimuksesta on laadultaan kvalitatiivista ja luonteeltaan subjektiivista, mutta tarvetta on myös kvantitatiiviselle ja objektiiviselle tutkimustiedolle.
- 3) Kokonaishyväksyttävyys on avainasemassa hyvälle kokemuksen laadulle ja kokonaishyväksyttävyyteen liittyy monia asioita aina palvelun laadusta käyttäjän kokemukseen.
- 4) Palvelun laatu ja kokemuksen laatu ovat sidoksissa toisiinsa niin vahvasti, että näitä ei olisi tarpeen erottaa, vaan voidaan puhua holistisesta laadusta digitaalisissa palveluissa.

Näiden seikkojen perusteella rakennettiin mobiilin videon katselun käyttäjäkokemuksen malli, johon luotiin kolme ulottuvuutta, jotka nojaavat kokonaisuutta ajatellen videon laadun ja verkkoyhteyden teknisiin ulottuvuuksiin, käyttäjän ominaisuuksiin ja operaattoreiden mahdollisuuksiin. Näin pyrittiin yhdistämään tekniset, taloudelliset sekä ihmisistä riippuvat seikat yhdeksi mallina käytettäväksi viitekehykseksi. Mallin reunaehdoja tarkastelemalla pyrittiin syventymään siihen mikä kaikki videon katselussa vaikuttaa sen tekniseen laatuun.

Luodusta mallista otettiin yksi ulottuvuus lähempään tarkasteluun ja mallin testausta varten ja tekniselle ulottuvuudelle muotoiltiin yksinkertainen, matemaattinen kaava, joka tarkastelee verkkoyhteyden laadun ja arvioidun käyttäjän kokemuksen laadun yhteyttä. Tällä pyrittiin saamaan objektiivinen ja kvantitatiivinen osa-alue malliin kirjallisuuskatsauksen löytöjen perusteella. Näin pystyttiin helposti saatavalla nettitutkan käyttäjäaineiston perusteella testaamaan mallin yhden ulottuvuuden toimivuutta skenaarioanalyysin keinoin. Mallin skenaarioiden saadut tulokset vastasivat melko tarkkaan asetettuja oletuksia. Kuitenkin mallin testattu osuus on hyvin yksinkertainen rakenteeltaan ja sen vuoksi tässä diplomityössä törmätään tietynlaisiin haasteisiin ja rajoituksiin, joita esitellään seuraavassa alaluvussa.

6.2. Tutkimuksessa esiintyneet haasteet ja rajoitukset

Vaikka tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset ja testattu mallin ulottuvuus todisti käyttäjän kokemusta ja sen laatua skenaarioanalyysin mukaan odotetusti, tässä diplomityössä ja sen työprosessissa oli myös ongelmia, haasteita ja tiettyjä rajoitteita, joita tarkastellaan tässä alaluvussa. Haasteisiin ja ongelmiin pyritään myös etsimään ratkaisuja sekä erittelemään jatkotutkimusta seuraavassa alaluvussa.

Tutkimuksen suurin rajaava tekijä oli aika. Työ tehtiin osana diplomityöprojektia, johon oli varattu aikaa neljä kuukautta. Tämä käytännössä rajasi pois esimerkiksi vahvan empiirisen osion, jossa teoriaa olisi selkeämmin voitu testata käytännössä ja jota olisi kaivattu tässä tutkimuksessa saatujen tulosten verifioimiseen. Toisin sanoen, kun tässä työssä saatiin tietynlaisia tuloksia, ne voisivat toimia esimerkiksi perinteisen käyttäjäkyselyn, kontekstuaalisen haastattelun tai käyttäjän seurannan kaltaisten kokeellisten tutkimusmenetelmien pohjaoletuksina. Tällöin voitaisiin tarkistaa, vastaavatko

teorian mallin ennusteet käyttäjäkokemuksen laadusta käyttäjien subjektiivisia kokemuksia. Näin saataisiin selkeämpi yhteys subjektiivisten kokemusten ja objektiivisten tunnuslukujen välille ja pystyttäisiin luomaan selkeämpi suhde mallin eri osa-alueiden välillä. Tätä tarkastellaan vielä seuraavassa alaluvussa.

Työn tekemiselle asetetut aikarajoitteet johtivat myös siihen, että tutkimuksessa tarkasteltiin lähempää vain yhtä osa-aluetta koko kehitetystä mallista. Voidaan siis ajatella, että saadut tulokset kertovat vain pienen osan käyttäjäkokemuksen kokonaisuudesta. Käyttäjäkokemuksen laatuun vaikuttavat myös käyttäjänäkökulma ja operaattoriulottuvuus mallin perusteella.

Yksi haaste tutkimusta tehdessä oli myös nettitutkasta saatavan datan kerääminen. Tässä tutkimuksessa jouduttiin turvautumaan nettitutkan julkisen verkkosivun käyttöliittymään, joka on esitelty neljännen luvun Kuva 10. Sen kautta on hyvin haastavaa määritellä esimerkiksi mittausruutujen kokoa ja määrää, sillä työkalun kartta tarjoaa portaattoman tarkentamisen. Tässä on mahdollisuus tarkentaa skenaarioanalyysin testituloksia, pääsemällä käsiksi tarkempaan raakaan mittausdataan, jonka perusteella verkkosivun työkalukin on rakennettu. Tällöin reitityksen osalta toisessa ja kolmannessa skenaariossa voisi turvautua tarkempiin koordinaatteihin mittaus tulosten osalta, jolloin saadaan realistisempia ja todenmukaisempia mittauksia, joiden perusteella arvioida käyttäjäkokemusta.

6.3. Jatkotutkimus ja käytännön sovellukset

Tässä diplomityössä sen valmistumiselle asetettujen aikarajojen takia seuraavia osa-alueita ei työssä pystytty käsittelemään ja ne vaatisivat tarkempaa käsittelyä:

- kokeellinen osuus työssä esitetyn teoreettisen pohjan vahvistamiseksi
- mallin muut osa-alueet
- nettitutkan mittauksen tarkentaminen raakadatan perusteella.

Työssä nyt esitetty malli ja etenkin sen osa-alue mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen laadun mittaamiseen verkkoyhteyden laadun perus-

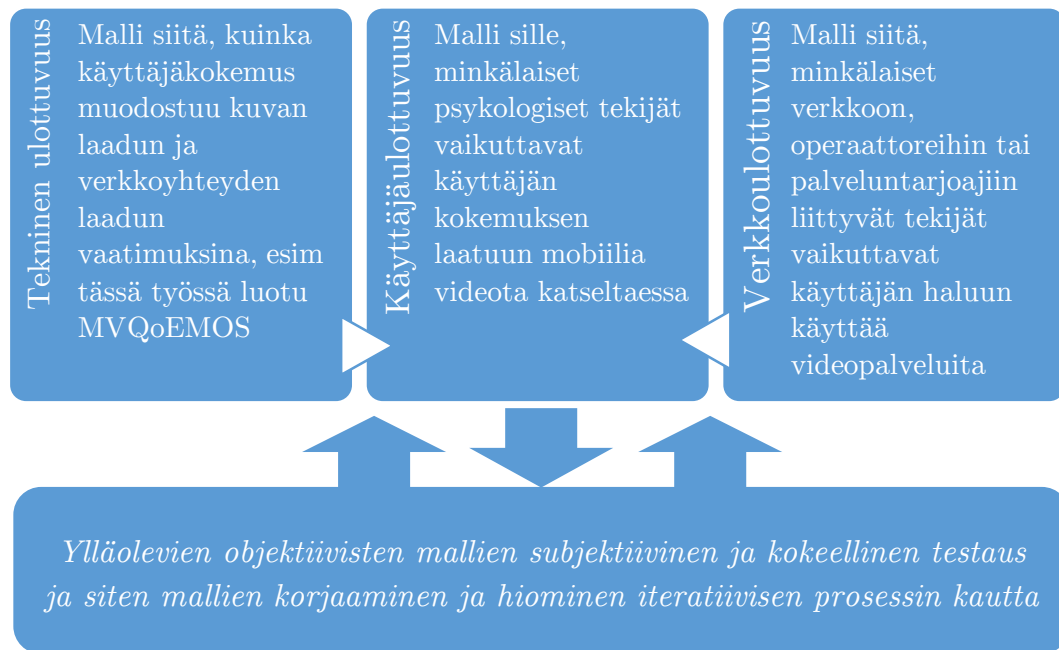
teella vaikuttaa teoreettisesti pätevältä ja saa tukea kirjallisuustutkimuksesta sekä skenaarioanalyysin perusteella myös toimii käytännössä. Seuraavassa jatkotutkimuksessa voidaan mallia käyttää pohjana, kun tutkitaan mm.

- mallin subjektiivisten ja objektiivisten näkemysten yhteyttä vertaamalla kvalitatiivista ja kvantitatiivista dataa keskenään ja selvittämällä kuinka nämä korreloivat keskenään,
- millaisia alamalleja voidaan luoda mallin muille ulottuvuuksille ja
- kuinka tässä tutkimuksessa esitetyn mallin skenaarioanalyysiä voidaan tarkistaa tarkemmilla mittausarvoilla.

Jatkotutkimuksessa, esimerkiksi skenaarioanalyysin pohjalta, voitaisiin luoda kokeet, jossa käyttäjiä pyydetään toteuttamaan skenaariot todellisuudessa ja esimerkiksi raporttoimaan kokemuksiaan. Tähän keinoja voisi olla esimerkiksi käyttäjän tekemä päiväkirja-tyyppinen raportti tai käyttäjän toimintojen ja reaktioiden videokuvaaminen matkan aikana. Vaihtoehtoisesti käyttäjien kokemuksia voidaan arvioida ja käyttäjät voivat arvioida omaa kokemustaan myös valvotuissa olosuhteissa, jotka on tehty muistutamaan skenaarioissa esiteltyjä olosuhteita. Näin voidaan esimerkiksi ohjelmoida testitilanteita, joissa verkkoyhteyden laatu heikkenee eri lailla. Yksi keino saada subjektiivista ja kvalitatiivista dataa olisi myös käyttäjäkyselyt tai erilaiset teemahaastattelut, mikäli halutaan kuulla käyttäjän omaa näkemystä kokemuksistaan. Näin saadaan yhteys objektiivisen ja subjektiivisen datan välille. Tästä seuraava askel olisi optimoida mallia niin, että mallin subjektiiviset ja objektiiviset osatekijät olisivat hyvin lähellä toisiaan, niin, että ne korreloisivat keskenään hyvin. Korrelaatiota itsessään voidaan myös tutkia tarkemmin, eli mitkä tekijät mallissa riippuvat selkeästi toisistaan, tilastotieteen ja -matematiikan keinoin.

Lisäksi selkeä, hyvin tämän työn kaltainen jatkotutkimus olisi rakentaa vastaavanlaisia matemaattisia esitysmalleja tai työkaluryhmiä malleissa esitetyille muille ulottuvuuksille, kuten verkkoon ja operaattoreihin liittyviin osoittimiin tai käyttäjästä saatavan tiedon mittaamiseen. Yksi näkökulma olisi luoda mallin rinnalle prosessikuvaus siitä, kuinka mallin ulottuvuuksia ja osa-alueita pystyttäisiin käyttämään käyttäjäkokemuksen analyysin tu-

kena ja kuinka mallin iteratiivinen kehittäminen toimisi. Tätä ajatusta esittää kuva 16. Kirjallisuudessa esiteltiin myös keinoja muokata kvalitatiivista dataa kvantitatiiviseksi, jolloin teoriassa olisi mahdollista luoda tästä mallista kokonaan matemaattisesti muotoiltu versio.



Kuva 16 – Mobiilin videonkatselun käyttäjäkokemuksen analyysin prosessi

Mikäli pystyttäisiin toteuttamaan tässä työssä esitellyt skenaariot ja saamaan mittaamalla skenaarioita toteutettaessa erittäin tarkkaa, raakaa mittausdataa voitaisiin toistaa tässä tutkimuksessa esitetty teoreettinen lähestymistapa mallin osa-alueen testaamiselle. Skenaariot voitaisiin toteuttaa käytännössä ja todellisuudessa. Näin mittau tulokset eivät olisi ollenkaan nettitutkan käyttäjistä riippuvaisia, vaan saataisiin aitoja mittausarvoja analyysiä varten.

Millaisia käytännön sovelluksia kehitetyllä mallilla on? Siitä pystyisi tekemään hyvän arviointityökalun esimerkiksi operaattoreiden tai videopalveluntuottajien käyttöön, jolla he pystyisivät arvioimaan palvelunsa tai verkkonsa toimivuutta erilaisissa käyttöympäristöissä ja –tilanteissa ja saisivat simuloitua tai todellista dataa käyttäjäkokemuksen laadusta. Se voisi myös

toimia etenkin jatkotutkimuksen osalta teoreettisena viitekehyksenä verkko-yhteyksien objektiivisten mittaustulosten ja käyttäjistä saatujen subjektiivisten kokemusten välillä. Toivottavaa olisi saada luotua yhteys sille, miten käyttäjän kokemuksta ja sen laatua voidaan arvioida epäsuorasti, ilman käyttäjän osallistumista varsinaiseen tutkimusprosessiin. Toisin sanoen, voidaanko yhteyden, videon, verkon, tai palvelun laadusta, jotka edustavat pohjimmiltaan QoS-tyyppistä näkökulmaa, johtaa päteviä arvioita kokemuksen laadulle, QoE:lle. Tällöin QoE:n voisi määritellä osakseen QoS:n kautta ja ei olisi tarvetta pitää yllä sellaista kahtiajakoa teknisen laadun ja psykologisen laadun välillä.

Lähdeluettelo

Aaker, D. A., 2001. *Strategic market management*. 14. toim. New York: Wiley.

All About UX, 2011. *User experience definitions*. [Online]
Available at: <http://www.allaboutux.org/ux-definitions>
[Haettu 1. lokakuuta 2015].

Amer, A. & Dubois, E., 2005. Fast and reliable structure-oriented video noise estimation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 15(1), pp. 113-118.

Brooks, P. & Hestnes, B., 2010. User Measures of Quality of Experience: Why Being Objective and Quantative Is Important. *IEEE Network*, 24(2), pp. 8-13.

Calyam, P. ym., 2007. A "GAP-Model" based Framework for Online VVoIP QoE Measurement. *Journal of Communications and Networks*, joulukuu, 9(4), pp. 446-456.

Claypool, M. & Tanner, J., 1999. *The effects of jitter on the peceptual quality of video*. New York, ACM, pp. 115-118.

De Pessemier, T. ym., 2013. Quantifying the Influence of Rebuffering Interruptions on User's Quality of Experience During Mobile Video Watching. *IEEE Transactions on Broadcasting*, Maaliskuu, 59(1), pp. 47-61.

Deoras, V., Shao, J., Gray, W. A. & Fiddian, N. J., 2003. *A Quality of Service Management Framework Based on User Expectations*. s.l., Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.

Eckert, M., 2012. *An advanced network based method for Video QoE estimation based on throughput measurement*, Würzburg: EuroView 2012.

Euroopan komissio, 2013. *Mobile communications: Fresh €50 million EU research grants in 2013 to develop '5G' technology*. [Online]
Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-159_en.htm
[Haettu 10. marraskuuta 2015].

Fiedler, M., Hossfeld, T. & Tran-Gia, P., 2010. A Generic Quantative Relationship between Quality of Experience and Quality of Service. *IEEE Network*, 24(2), pp. 36-41.

Forlizzi, J. & Battarbee, K., 2004. *Understanding Experience in Interactive Systems*. s.l., Carnegie Mellon University Research Showcase @ CMU, pp. 261-268.

Gartner, 2015. *Gartner Forecasts 59 Percent Mobile Data Growth Worldwide in 2015*. [Online]
Available at: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3098617>
[Haettu 22. syyskuuta 2015].

Gartner, 2015. *What's Driving Mobile Data Growth?*. [Online]
Available at: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2977917>
[Haettu 22. syyskuuta 2015].

Gentile, C., Spiller, N. & Noci, G., 2007. How to Sustain the Customer Experience: An Overview of Experience Components that Co-create Value With the Customer. *European Management Journal*, 25(5), pp. 395-410.

Geoinformatics Research Group, 2015. *MapBBCode Share*. [Online]
Available at: <http://share.mapbbcode.org>
[Haettu 6. joulukuuta 2015].

Graniittirakennus Kallio, 2015. *Kivistön asema, Vantaa*. [Online]
Available at: <http://www.grk.fi/project/kiviston-asema/>
[Haettu 20. joulukuuta 2015].

Hassenzahl, M., 2008. *User Experience (UX): Towards an experiential perspective on product quality*. s.l., ACM, pp. 11-15.

Hassenzahl, M., 2010. *Experience Design: Technology for All the Right Reasons*. Essen: Morgan&Claypool Publishers.

Hassenzahl, M. & Tractinsky, N., 2006. User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, Maalis-huhtikuu, 2(25), pp. 91-97.

Huynh-Thu, Q. & Ghanbari, M., 2012. The accuracy of PSNR in predicting video quality for different video scenes and frame rates. *Telecommun Systems*, 49(1), pp. 35-48.

IAB, 2015. *Mobile Video 2015: A global perspective*. [Online]
Available at:
http://www.iab.net/media/file/IAB_Mobile_Video_Usage_FINAL.pdf
[Haettu 2. lokakuuta 2015].

ISO, 2010. *Ergonomics of human-system interaction: Human-centred design for interactive systems*. [Online]
Available at:
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52075
[Haettu 2. lokakuuta 2015].

ITU, 1996. *P.800: Methods for subjective determination of transmission quality*. [Online]
Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>
[Haettu 14. lokakuuta 2015].

ITU, 2006. *Definition of Quality of Experience*. [Online]
Available at: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-P.10-200701-S!Amd1!PDF-E&type=items.
[Haettu 9. lokakuuta 2015].

ITU, 2008a. *P.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications*. [Online]
Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.910-200804-I/en>
[Haettu 15. lokakuuta 2015].

ITU, 2008b. *J.247: Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference*. [Online]
Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-J.247-200808-I/en>
[Haettu 15. lokakuuta 2015].

ITU, 2008c. *E.800: Definitions of terms related to quality of service*. [Online]
Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>
[Haettu 12. lokakuuta 2015].

ITU, 2008d. *Invitation for submission of proposals for candidate radio interface technologies for the terrestrial components of the radio interface(s) for IMT-Advanced and invitation to participate in their subsequent evaluation*. [Online]

Available at: http://wirelessman.org/liaison/docs/L80216-08_008.pdf
[Haettu 10. marraskuuta 2015].

ITU, 2014. *H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services*. [Online]

Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.264-201402-I/en>
[Haettu 10. marraskuuta 2015].

Jain, R., 2004. Quality of Experience. *IEEE Multimedia*, pp. 96-97.

Johansson, K. ym., 2009. *Multi-Carrier HSPA Evolution*. Barcelona, IEEE, pp. 1-5.

Kellingley, N., 2014. *User Experience and Customer Experience what's the Difference*. [Online]

Available at: <https://www.interaction-design.org/literature/article/user-experience-and-customer-experience-what-s-the-difference>
[Haettu 9. lokakuuta 2015].

Khan, A., Sun, L., Jammeh, E. & Ifeachor, E., 2010. Quality of experience-driven adaptation scheme for video applications over wireless networks. *IET Communications*, 4(11), pp. 1337-1347.

Kilkki, K., 2008. Quality of Experience in Communications Ecosystem. *Journal of Universal Computer Science*, 1. maaliskuu, 14(5), pp. 615-624.

Kilkki, K., 2010. *Communications Ecosystem - aloitusluento*. [Online]

Available at:
https://asiakas.kotisivukone.com/files/50ajatelmaa.ajatukset.fi/tiedostot/kilkki_qoe_2010.pdf
[Haettu 12. lokakuuta 2015].

Laghari, K. u. R., Crespi, N. & Connelly, K., 2012. Toward Total Quality of Experience: A QoE Model in a Communication Ecosystem. *IEEE Communication Magazine*, 50(4), pp. 58-65.

Law, E. L.-C. ym., 2009. *Understanding, Scoping and Defining User eXperience: A Survey Approach*. s.l., ACM, pp. 719-728.

Lowden, T., 2014. *User Experience (UX) vs. Customer Experience (CX): What's the Dif?*. [Online]

Available at: <http://www.digitalgov.gov/2014/07/07/user-experience-ux-vs-customer-experience-cx-whats-the-dif/>

[Haettu 9. lokakuuta 2015].

Marshall, C., 2015. *We're all watching more video on our smartphones and tablets [study]*. [Online]

Available at: <http://www.reelseo.com/increase-mobile-video-consumption/>

[Haettu 1. lokakuuta 2015].

Mok, R. K. P., Chan, E. W. W. & Chang, R. K. C., 2011. *Measuring the Quality of Experience of HTTP Video Streaming*. s.l., IEEE, pp. 485 - 492.

Muhammad, N., Chiavelli, D., Soldani, D. & Li, M., 2006. Introduction - QoE value chain. Teoksessa: *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. s.l.:John Wiley & Sons, LTD.

Netradar, 2012. *Tietoa palvelusta*. [Online]

Available at: <https://www.netradar.org/fi/about>

[Haettu 1. marraskuuta 2015].

Neuvo, Y., 2012. *Unfogging the Future*. [Online]

Available at: <http://eis.fi/wordpress/wp-content/uploads/2013/04/Unfogging-the-Future.pdf>

[Haettu 15 marraskuuta 2015].

Nielsen, J., 1993. *Usability Engineering*. 1. painos toim. Mountain View(Kalifornia): Morgan Kaufmann.

Nielsen, J. & Norman, D., 2015. *The Definition of User Experience*. [Online]

Available at: <http://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>

[Haettu 2. lokakuuta 2015].

OGC, 2015. *OpenRouteService*. [Online]
Available at: <http://openrouteservice.org>
[Haettu 5. joulukuuta 2015].

OPTICOM, 2015. *PEVQ - the Standard for Perceptual Evaluation of Video Quality*. [Online]
Available at: <http://www.pevq.com/pevq.html>
[Haettu 15. lokakuuta 2015].

Ozer, J., 2015. *The State of Video Codecs 2015*. [Online]
Available at:
<http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/Featured-Articles/The-State-of-Video-Codecs-2015-102806.aspx>
[Haettu 10. marraskuuta 2015].

Patterson, J. R. C., 2012. *Video Encoding Settings for H.264 Excellence*. [Online]
Available at: <http://www.lighterra.com/papers/videoencodingh264/>
[Haettu 15. marraskuuta 2015].

Perttula, J., 1995. *Kokemus psykologisena tutkimuskohteena: johdatus fenomenologiseen psykologia*. Tampere: Suomen fenomenologinen instituutti.

Perttula, J. & Latomaa, T., 2009. *Kokemuksen tutkimus: merkitys, tulkinta ja ymmärtäminen*. 3. painos toim. Helsinki: Lapin yliopistokustannus.

Peuhkuri, M., 1999. *IP Quality of Service*, s.l.: s.n.

Richardson, I. E. G., 2003. *H.264 and MPEG-4 video compression : video coding for next generation multimedia*. s.l.:Wiley.

Roto, V., Law, E., Vermeeren, A. & Hoonhout, J., 2011. *User Experience White Paper - Bringing clarity to the concept of user experience*, s.l.: Dagstuhl Seminar on Demarcating User Experience.

Russell, J. A., 2003. Core Affect and the Psychological Construction of Emotion. *Psychological Review*, 110(1), pp. 145-172.

Schroeder, D. ym., 2013. *Low-Complexity No-Reference PSNR Estimation for H.264/AVC Encoded Video*. San Jose, CA, IEEE, pp. 1-6.

- Shen, Y. ym., 2012. *QoE-based Evaluation Model on Video Streaming Service Quality*. s.l., IEEE, pp. 1314-1318.
- Siller, M. & Woods, J., 2003. *Improving Quality of Experience for Multimedia Services by QoS Arbitration on a QoE Framework*. s.l., s.n.
- Singh, S. ym., 2012. *Video Capacity and QoE Enhancement over LTE*. California, IEEE, pp. 7071-7076.
- SNS Telecom, 2011. *LTE Encyclopedia*. [Online]
Available at: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>
[Haettu 11. marraskuuta 2015].
- Soldani, D. ym., 2006. QoE and QoS Monitoring. Teoksessa: *Qos and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. s.l.:John Wiley & Sons, LTD, pp. 315-384.
- Sonntag, S., Manner, J. & Schulte, L., 2013. *Netradar - Measuring the Wireless World*. s.l., IEEE, pp. 29 - 34.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R. & Simoncelli, E. P., 2004. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), pp. 600-612.
- Wannstrom, J., 2013. *LTE-Advanced*. [Online]
Available at: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
[Haettu 11. marraskuuta 2015].
- Vegesna, S., 2001. *IP Quality of Service*. 1. Painos toim. Indianapolis(Indiana): Cisco Press.
- Xiph, ei pvm *Xiph.org Video Test Media (derf's collection)*. [Online]
Available at: <https://media.xiph.org/video/derf/>
[Haettu 15. marraskuuta 2015].

A Mobiilin videon käyttäjäkokemuksen mallin testauksen tulosaaineisto

Taulukko A1: Pysäkillä odottelu -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvosanat ja painotetut keskiarvot

Ruudut matkalla	Bittinopeus	AS	Viive	AS	SMVQoEMOS
1	31597	5	-75	4	4,67

Taulukko A2: Maantieajo -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvostamat ja painotetut mittaushetkien keskiarvot, sekä kokonaiskeskiarvo

Ruudut matkalla	Bittinopeus	AS	Viive	AS	SMVQoEMOS
1	20393	5	-95	4	4,67
2	13171	5	-102	4	4,67
3	5712	4	-82	4	4,00
4	5219	4	-89	4	4,00
5	8784	5	-76	4	4,67
6	7677	5	-69	4	4,67
7	9128	5	-84	4	4,67
8	6704	5	-62	4	4,67
9	25973	5	-61	4	4,67
10	10731	5	-50	5	5,00
11	25839	5	-59	4	4,67
12	1353	0	-84	4	1,33
13	1935	0	-73	4	1,33
14	3230	2	-25	5	3,00
15	7097	5	-325	2	4,00
16	6001	5	-35	5	5,00
17	4881	4	-38	5	4,33
18	3321	2	-45	5	3,00
19	10597	5	-41	5	5,00
20	7311	5	-123	4	4,67
21	12305	5	-33	5	5,00
22	3787	3	-54	4	3,33
23	7867	5	-59	4	4,67
24	11828	5	-171	3	4,33
				KA	4,14

Taulukko A3: Veneily saaristossa -skenaarion bittinopeudet, viiveet, niiden arvosanat ja mittaushetkien painotetut keskiarvot, sekä kokonaiskeskiarvo

Ruudut matkalla	Bitti- nopeus	AS	Viive	AS	SMVQoEM OS	Huomiot:
1	3844	3	-1213	0	2,00	
2	3084	2	-126	4	2,67	
3	11408	5	-57	4	4,67	
4	2761	1	-57	4	2,00	
5	1713	0	-37	5	1,67	
6	6782	5	-52	4	4,67	
7	3942	3	-99	4	3,33	
8	0	0	-999	0	0,00	ei mittaustuloksia
9	0	0	-999	0	0,00	ei mittaustuloksia
10	7389	5	-99	4	4,67	
11	1001	0	-479	1	0,33	
12	846	0	-999	0	0,00	
13	18871	5	-999	0	3,33	
14	2323	0	-106	4	1,33	
15	0	0	-999	0	0,00	ei mittaustuloksia
16	3375	2	-63	4	2,67	
17	3722	3	-46	5	3,67	
18	41	0	-717	0	0,00	
19	0	0	-999	0	0,00	ei mittaustuloksia
20	5686	4	-39	5	4,33	
21	0	0	-999	0	0,00	ei mittaustuloksia
22	32	0	-399	1	0,33	
				KA	1,89	
				KA	2,45	
				ilman tyhjiä ruutuja		